

**INTÉGRATION DES ASPECTS ÉNERGÉTIQUES ET DU CONFORT AMBIANT
PASSIF DANS LA CONCEPTION DE L'HABITAT EN MILIEU ARIDE**

par

Belkacem BERGHOUT

THÈSE PAR ARTICLES PRÉSENTÉE À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DU
DOCTORAT EN GÉNIE
Ph. D.

MONTREAL, LE 11 SEPTEMBRE 2019

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Belkacem Berghout, 2019



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CETTE THÈSE A ÉTÉ ÉVALUÉE

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Professeur. Daniel Forgues, directeur de thèse
Département de génie de la construction à l'école de technologie supérieure

Professeur. Stanislaw Kajl, président du jury
Département de génie mécanique à l'école de technologie supérieure

Professeur. Mathias Glaus, membre du jury.
Département de génie de la construction à l'école de technologie supérieure

Professeure Ajointe. Isabel Amaral, membre du jury, examinateur externe
École d'architecture McEwen/McEwen School of Architecture. Université Laurentienne/
Laurentian University

ELLE A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE, 07 AOÛT 2019

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement le professeur Daniel Forgues, mon directeur de thèse, qui m'a permis de réaliser ce sujet de recherche grâce à ses encouragements, sa détermination et sa passion demeureront une source d'inspiration tout au long de mes cycles des études supérieures.

Merci à ma famille - ma fille, mon fils - pour leur amour inconditionnel et constant et pour leur soutien.

Je remercie aussi le personnel de la bibliothèque pour leur patience.

Mes remerciements sincères vont aussi aux membres de mon jury.

Enfin, je souhaite remercier l'École de Technologie Supérieure pour la pertinence de l'enseignement qui m'a été donnée.

Intégration des Aspects Énergétiques et du Confort Ambiant Passif dans la Conception de l'Habitat en Milieu Aride

Belkacem BERGHOUT

RÉSUMÉ

La consommation énergétique excessive dans l'habitat en milieu aride renvoie à une réflexion à l'architecture vernaculaire par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat qui peut fortement contribuer à une stratégie d'économie d'énergie, dont l'objectif d'améliorer les besoins énergétiques de l'habitat du présent sans nuire aux générations futures. Cependant, le concepteur n'a souvent pas les connaissances ni l'accès aux diverses informations nécessaires pour faire ces choix adéquats entre plusieurs alternatives. Cette thèse a pour but de développer une méthodologie qui permet d'intégrer les aspects énergétiques et du confort ambiant passif dans la conception de l'habitat. Pour répondre à l'objectif de la recherche, ce travail est structuré en trois parties qui constituent les principaux axes de la thèse. Un inventaire des dispositifs et stratégies vernaculaires a été réalisé, suivi d'une analyse de la complexité de l'intégration des aspects énergétiques et du confort de l'utilisateur dans les différents cas de figure en milieu aride, basé sur la structure morphologique du bâtiment proposé. Les résultats issus de cette analyse illustrent concrètement d'une part, l'interrelation entre la problématique énergétique et les différents choix de conception et d'autre part, de quelle façon le choix des dispositifs vernaculaires peuvent conditionner le comportement énergétique de l'habitat. La combinaison correspond aux deux cas de figure : cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs et cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs. Le processus global développé, centré sur l'intégration de ces dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat, permet d'améliorer la performance énergétique de l'habitat et d'assurer le confort de l'occupant.

Les résultats de ces travaux sont présentés dans cette thèse sous forme de trois articles. Bien que cette thèse ait contribué à faire avancer les connaissances relatives aux performances énergétiques de l'habitat en milieu aride, des limites liées à d'autres besoins de l'utilisateur comme l'éclairage naturel et le concept d'évaluation de ces impacts ont été identifiées. En plus de proposer des pistes pour y remédier, la thèse présente des perspectives de recherche, telles que le processus conceptuel de l'éclairage naturel en adéquation avec le confort ambiant passif et l'efficacité énergétique, ainsi que l'évaluation intégrée des performances énergétiques, de l'éclairage naturel et le confort de l'utilisateur au moyen de la présente méthodologie. Au final, les concepteurs et les professionnels de l'habitat du milieu aride sont mieux informés de l'état des performances énergétiques des dispositifs et stratégies vernaculaires par rapport aux pratiques actuelles, ainsi que sur les priorités d'actions visant à améliorer leurs performances.

Mots clé:

Méthodologie; processus conceptuels; dispositifs vernaculaires; stratégies vernaculaires; habitat; performance énergétique; confort.

Integration of Energy Aspects and Passive Ambient Comfort in the Design of Habitat in the Arid Environment

Belkacem BERGHOUT

ABSTRACT

Excessive energy consumption in habitat in the arid environment raises vernacular thinking by its intrinsic climate adaptation qualities that can strongly contribute to an energy saving strategy, whose objective is to improve the energy needs of the habitat of the present without harming future generations. However, the designer often does not have the knowledge or access to the various information needed to make these appropriate choices between several alternatives.

This thesis aims to develop a methodology that integrates energy aspects and passive ambient comfort in the design of the habitat. To answer the objective of the research, this work is structured in three parts which will constitute the main axes of the thesis. An inventory of vernacular devices and strategies was carried out, followed by an analysis of the complexity of the integration of energy aspects and user's comfort in different cases in arid environment, based on the morphological structure of the suggested building. The results of this analysis concretely illustrate, on the one hand, the interrelation between the energy problem and the different design choices, and on the other hand, in what way the choice of vernacular devices can condition the energetic behavior of the habitat. The combination corresponds to the two cases: case of integration in interaction of strategies and devices and case of integration in correlation of strategies and devices. The overall process developed, centered on the integration of these devices and vernacular strategies in the design of the habitat, makes it possible to optimize the energetic performance of the habitat and to ensure the comfort of the occupant.

The results of this work are presented in this thesis in the form of three articles. Although this thesis helped to advance knowledge about the energy performance of habitat in the arid environment, limits related to other user's needs such as natural lighting and the concept of evaluation of these impacts have been identified. In addition to proposing ways to remedy this, the thesis presents research perspectives, such as the conceptual process of natural lighting in line with passive ambient comfort and energy efficiency, as well as the integrated evaluation of energy performance, natural lighting and user comfort using this methodology.

In the end, designers and professionals of habitat in the arid environment are better informed about the energy performance status of vernacular systems and strategies compared to current practices, as well as the priorities for action to improve their performances.

Keywords :

Vernacular devices; vernacular strategies; habitat; energetic performance; comfort; methodology; conceptual processes.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	21
Objectifs et méthodologie	26
Structure de la thèse	28
 CHAPITRE 1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES: MOTIVATIONS DE RECHERCHE	 31
1.1 Motivations pratiques.....	31
1.2 Motivations théoriques.....	33
1.2.1 Le vernaculaire et les mesures de conception de l'habitat.....	36
1.2.1.1 Compacité urbaine	38
1.2.1.2 Habitat à forme compacte	40
1.2.1.3 Habitat à patio	42
1.2.1.4 Morphogenèse de l'habitat.....	44
1.2.1.5 Densification de l'habitat	46
1.3 Synthèse	48
1.4 Intégration conceptuelle de la climatisation naturelle	49
1.4.1.1 Le moucharabieh.....	50
1.4.1.2 Les ouvertures.....	51
1.4.1.3 La cheminée d'air	53
1.4.1.4 Malqaf ou badgir.....	53
1.4.1.5 Dispositifs d'humidification	55
1.5 Synthèse	56
1.6 Apport du vernaculaire dans les pratiques architecturales contemporaines	56
1.6.1 La tour 30 St Mary Axe	56
1.6.2 Immeuble administratif contemporain inspiré des tours à vent.....	59
1.7 Limites des outils d'aide à la conception et énoncé du problème.....	60
1.8 Résumé des articles.....	65
 CHAPITRE 2 ARTICLE 1: THE PASSIVE AMBIENT COMFORT AND DESIGN INTEGRATION FEASABILITY OF VERNACULAR DEVICES IN ARID HOUSING.....	 71
2.1 Introduction.....	72
2.2 Vernacular design measures in arid areas	74
2.2.1 Vernacular design and climate comfort	75
2.2.1.1 Building compactness	75
2.2.1.2 Habitat with patio.....	76
2.2.1.3 Porous walls	77
2.2.1.4 Interior walls	78
2.2.1.5 Wind towers	78
2.2.2 Abstract and perspectives	80
2.2.3 Analyzing climate comfort in vernacular houses design	81

	2.2.3.1	Correlation of strategies and devices	83
	2.2.3.2	Strategy and device interaction.....	85
	2.2.4	Reassessing the analysis results using developed computer techniques...	86
2.3		Climate research - responsive design strategies for arid areas	89
	2.3.1	Climate research.....	89
	2.3.2	Responsive design strategies.....	90
2.4		Results and discussion	91
2.5		Conclusions.....	95

CHAPITRE 3	ARTICLE 2: THE PASSIVE AMBIENT COMFORT AND THE INTERACTION OF VERNACULAR STRATEGIES AND DEVICES IN ARID ZONE HABITAT DESIGN: CASE OF BISKRA, ALGERIA.....		97
3.1	Introduction.....		98
3.2	Literature review.....		101
3.3	Methodology.....		106
	3.3.1	Bioclimatic analysis.....	107
	3.3.2	Referential development.....	107
3.4	The context of the case study.....		112
	3.4.1	Climatic characteristics of the studied zone.....	112
	3.4.2	Bioclimatic analysis of the city of Biskra.....	114
	3.4.3	Experimental study.....	117
	3.4.4	Selecting the building to be analysed.....	117
		3.4.4.1 Thermal study of the model building.....	119
		3.4.4.2 Energy behavior simulation of the building.....	120
3.5	Results and discussion.....		123
	3.5.1	Configuration 1.....	123
	3.5.2	Configuration 2.....	125
	3.5.3	Configuration 3.....	127
	3.5.4	Configuration 4.....	128
	3.5.5	Configuration 5.....	130
	3.5.6	Synthesis.....	132
3.6	Conclusion.....		134

CHAPITRE 4	ARTICLE 3: PASSIVE AMBIENT CONFORT AND CORRELATION OF STRATEGIES AND VERNACULAR DEVICES FOR HABITAT DESIGN IN ARID ZONES: THE CASE OF BISKRA, ALGERIA135		
4.1	Introduction.....		136
4.2	Sustainability Trends in Vernacular Architecture.....		138
4.3	Methodology.....		141
	4.3.1 Case Study Process Development.....		142
4.4	The Case Study		144
	4.4.1 Bioclimatic Analysis of the City of Biskra		145
	4.4.2 Selecting the Building to be Analysed.....		146

4.4.3	Thermal Study of the Building	147
4.4.4	Energy Behavior Simulation.....	148
4.5	Results and Discussion	150
4.5.1	Configuration 1	150
4.5.2	Configuration 2	153
4.5.3	Configuration 3	156
4.5.4	Configuration 4	158
4.5.5	Synthesis	161
4.6	Conclusions.....	164
CHAPITRE 5 DISCUSSION		167
5.1	Discussion relative à la caractérisation de la méthodologie	167
5.2	Limites de l'étude	170
5.3	Originalité et contributions	170
CONCLUSION.....		173
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		177

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Table 1-1: Comparaison des résultats des charges annuelles de climatisation/chauffage et le taux de réduction en ratio énergétique par rapport aux bâtiments standards pour les bâtiments correspond aux différentes configurations.....	69
Table 2-1: Inventory of arid climate vernacular devices and strategies for building envelopes.....	82
Table 3-1: The device(s) or strategy(s) to adopt to solve the problems of thermal	116
Table 3-2: The thermo-physical properties of building materials in	119
Table 3-3: EnergyPlus boundary condition data for the case study's building	121
Table 3-4: The types of configurations built into the standard building.....	122
Table 3-5: Results of the annual air-conditioning/heating loads for all 5 configurations and the percentage ratio reduction of their energy savings compared to the Standard building's energy needs.....	133
Table 4-1: Thermophysical Properties of the Building Materials of the	147
Table 4-2: Convective exchange coefficients [W/(m ² K) for the simulation	148
Table 4-3: EnergyPlus boundary condition data.....	150
Table 4-4: Annual Cooling/Heating Loads Results and Reduction Rate Compared to the Standard Building, and Research Objective for Buildings Corresponding to Different Configurations.....	163

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1-1: illustre la carte mondiale des zones arides	35
Figure 1-2: La tour 30 st Marie	57
Figure 1-3: Maquette illustrant le décalage des niveaux	58
Figure 1-4: Illustre un essai de simulation.....	58
Figure 1-5: Illustre le bâtiment administratif contemporain	59
Figure 1-6: Illustre le schéma de principe de capteurs à vent.....	60
Figure 1-7: Diagramme bioclimatique d'Olgay.....	62
Figure 2-1: Urban density examples, Timimoun, Algeria	76
Figure 2-2: Different configurations of porous external walls	77
Figure 2-3: Natural ventilation devices,.....	79
Figure 2-4: Patio incorporating vernacular	83
Figure 2-5: Correspondence between devices and their integration	86
Figure 2-6: Association of devices and vernacular strategies.....	88
Figure 2-7: Development of the habitat design process from the	93
Figure 3-1: Loop of the conceptual process related to thermal ambience based.....	108
Figure 3-2: The conceptual process loop related to thermal ambience	110
Figure 3-3: Proposed structure for a process design framework for achieving	111
Figure 3-4: Annual electricity consumption in KWh for collective and	113
Figure 3-5: Psychrometric diagram of Biskra, Algeria from Biskra	114
Figure 3-6: The model, an inspirational residential building.....	118
Figure 3-7: Stylized outer view and diagram of the ground	119

Figure 3-8: The building plan corresponding to configuration 1	123
Figure 3-9: The monthly charges for air conditioning/heating for the configuration 1	124
Figure 3-10: Monthly air conditioning/heating for configuration 2 building (type-1 vault) compared to those of the STANDARD building	126
Figure 3-11: The monthly air conditioning/heating for the configuration 3 building (integration of a mezzanine and a type-1 vault) compared to those of the STANDARD building	128
Figure 3-12: Monthly air conditioning/heating for the configuration 4 building (type-2 vault) compared to those of the STANDARD building	129
Figure 3-13: Monthly air conditioning/heating for the integration 5 of both a mezzanine	131
Figure 4-1: An illustration of notions associated with the vernacular	140
Figure 4-2: The realization loop of the conceptual process relating	143
Figure 4-3: Residential buildings built in the 1980s	146
Figure 4-4: A schematic view of the studied building	147
Figure 4-5: A view of the building corresponding to configuration 1	151
Figure 4-6: The monthly charges for air conditioning/heating for the configuration 1	153
Figure 4-7: A view of the building corresponding to configuration 2	154
Figure 4-8: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal	155
Figure 4-9: A view of the building corresponding to configuration 3	156
Figure 4-10: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal	158
Figure 4-11: A view of the building corresponding to configuration 4	160
Figure 4-12: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal	161

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ADEME: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AFNOR: Association française de normalisation

ASHRAE: American society of heating, refrigerating and air-conditioning

APRUE: Agence pour la promotion de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie

°C : Degré Celsius

CAO: Conception assistée par ordinateur

DOE: EnergyPlus documentations et manuels

EnrgyPlus: Un logiciel de simulation thermique et énergétique des batiments

eQuest: Un outil de simulation de construction dévelpoé par US DOE-2

ÉTS: École de technologie supérieure

GEC: Gaz à effet de serre

GEIEC: Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat

HQE: Haute qualité environnementale

IPCC: Intergovernmental panel on climate change

KJ/kg.K: Kilo- joule par kilogramme-kelvin

Kg/m³: Kilogramme mètre cube

KWh: Kilowattheure

KWh/an: Kilowattheure par an

KWh/an/m³: Kilowattheure par an par mètre cube

Luciole: Logiciel libre sous linux des techniques d'image

MCP: Matériau a changement de phase

MDEDM: Ministère de l'énergie et des mines

NET: New effective température

Million Btu: Million British thermal unit

M³.h-1: Mètre cube heure

M²: Mètre carré

Open Studio: Un logiciel de création graphique simple

PPD: Predicted percentage of dissatisfied

XX

PMV: Predicted mean vote

SB: Simulation buildings

SET: Standard effective temperature

SketchUp: Un logiciel de modélisation 3D d'animation et de cartographie

SONEGAZ: Société nationale d'électricité et du gaz

TRNSYS: Simulateur de performance de systèmes d'énergie thermique transitoire

VE: Environnement virtuel

W/m.k: Watt par metre-kelvin

WRF: Weather research and forecasting

W.person-1: Watt person.

INTRODUCTION

Le développement économique à l'échelle mondiale est fondé sur l'exploitation des sources d'énergies fossiles et a entraîné des émissions croissantes de gaz à effet de serre (GES), avec pour conséquence un risque d'importants changements climatiques sur la planète. Ces changements climatiques qui sont induits par une augmentation considérable des d émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont responsables du phénomène du réchauffement climatique de la planète. En effet, le dioxyde carbone provenant de l'utilisation de ces ressources fossiles représente plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GEIEC], 2007). Les enjeux énergétiques du vingt et unième siècle sont donc avant tout des enjeux environnementaux et humains.

La réflexion sur la maîtrise de cette énergie d'origine fossile et sur la mise en œuvre d'énergies renouvelables doit en permanence tenir compte de la volonté de plafonner puis de réduire la pollution engendrée par l'utilisation de ces sources énergétiques (Tourment, 2006). Dans cette mesure, des plans d'actions pour la limitation d'émissions de gaz à effet de serre ont été mis en place par la communauté mondiale, dont le Canada, notamment dans le cadre du protocole de Kyoto, principalement au moyen de transferts technologiques et du renforcement des capacités, afin d'y favoriser un développement durable et une économie plus sobre en carbone.

Le secteur du bâtiment, l'un des plus gros consommateurs d'énergie au niveau mondial, est une cible de choix dans la réduction de la consommation énergétique. Ce n'était pas avant les années 90 que les architectes et les designers ont commencé à intégrer la notion de simulation énergétique de bâtiments, similaire à l'outil de conception assistée par ordinateur (CAO) et de l'environnement virtuel (VE), dans leurs conceptions (Attia, Beltrán, Herde, & Hensen, 2009) dont l'objectif était non seulement d'assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais de plus de faire en sorte que l'impact de cet abri sur l'environnement soit minimisé.

Cette intégration de simulation dans la conception de bâtiment a permis de réaliser d'importantes décisions au début du processus de conception et un impact sur la performance énergétique et le coût de ce bâtiment (Hensen, 2004).

Cependant, malgré la prolifération de nombreux outils d'analyse de simulation de construction/énergie au cours de la dernière décennie, les architectes et les designers trouvent toujours de la difficulté à les exploiter (Punjabi & Miranda, 2005a). De nombreux architectes et designers confirment que la plupart des outils de simulation thermique sont jugés trop complexes et trop lourds (Tianzhen, Jinqian, & Yi, 1997). Ce qui est confirmé par Van Dijk et Luscuere (2002) et Gratia et De Herde (2002), ces derniers outils ne sont pas compatibles avec les méthodes de travail des architectes et designers. Ceci se traduit par la difficulté de mettre en cohérence la conception des constructions et les objectifs de performance énergétique.

Aujourd'hui, le milieu aride fait face à une croissance urbaine, où le secteur du bâtiment est l'un des premiers postes de consommation énergétique et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre (Beguin, 2011). Face à cette situation, la seule voie réaliste qui s'impose est celle de l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des effets négatifs sur l'environnement.

L'intention est particulière en milieu aride du fait que son climat présente un caractère extrême où le confort thermique de ses habitants requiert une adéquation de la construction, au climat et à l'environnement immédiat. Alors que, les bâtiments contemporains doivent répondre à des hautes exigences techniques dans leur conception et construction dans une logique d'optimisation de la performance énergétique (Mitra & Sanaz, 2014), il a été constaté l'usage exagéré des systèmes artificiels et la conceptualisation d'une architecture de géométrie vitrée avec l'usage de murs rideaux qui, paradoxalement, au lieu de faciliter l'ouverture avec l'extérieur, créent des constructions infranchissables.

Dans cette mesure, la construction dite vernaculaire offre de nombreux avantages potentiels. Elle intègre dans sa démarche des enjeux économiques, sociaux et environnementaux et permet même de passer de l'échelle du local au global - une réflexion logique pour les pays en développement. Dans cet ordre d'idée, Mokhtari, Brahimi, et Benziada (2008) déclarent que l'investissement supplémentaire pour une construction vernaculaire (un type d'architecture propre à une aire géographique, à un terroir et à ses habitants) est très limité et peut être rapidement amorti par des économies allant jusqu'à 40 % sur la facture énergétique.

Or, en milieu aride, malgré l'essor à l'heure actuelle de cette architecture vernaculaire, la prolifération des solutions conceptuelles contemporaines n'a pas donné lieu au développement de bâtiments énergétiquement performant (Rana, Nastaran, & Maryam, 2015; Alalouch, Salah-eldin Salah, & Al-Saadi, 2016). Par ailleurs, cet habitat vernaculaire a permis d'assurer dans le passé le confort de l'usager en procurant l'énergie d'une manière passive et de réduire les effets négatifs sur le milieu naturel (Mitra & Sanaz, 2014). Néanmoins, le recours à ces solutions vernaculaires reste souvent le résultat d'initiatives expérimentales, non encadrées par la pratique courante dans le milieu architectural, ce qui ne favorise pas la constitution d'un fonds commun de connaissances et de bonnes pratiques dans ce domaine de construction.

Tzonis, Stagno, et Lefaivre (2001); Hegger, (2003); Frey, (2010) ont permis de découvrir le savoir-faire traditionnel dans le milieu en question, un vaste étendu de dispositifs vernaculaires existants répond aux exigences de la construction individuelle, avec tous ses aspects notamment l'isolation thermique, la masse thermique, la pénétration solaire, l'infiltration d'air, la ventilation naturelle, ainsi que des éléments structuraux de l'enveloppe.

Parallèlement, les études récentes de l'architecture durable mettent l'accent également sur la richesse et la pertinence que peut avoir cette architecture vernaculaire (Denis, 2012; Saljoughinejad & Sharifabad, 2015). De plus, ces dernières études permettent de découvrir que les principes et les valeurs auxquelles l'architecture durable a donné de l'importance sont des caractéristiques privilégiés de cette architecture vernaculaire.

À ce propos, Eben Saleh (2004) note, que pour des solutions durables, il faut comprendre que l'environnement et les traditions ne sont pas complémentaires les uns des autres, mais sont pré requis. Par conséquent, cela ne signifie pas que toutes les techniques et formes vernaculaires sont durables et appropriées à notre ère; et cela s'explique par les changements politiques, technologiques, économiques, climatiques et aussi culturels. Dans cette optique, Lawrence (2006) indique que «it is unrealistic to consider an optimal sustainable state or condition of vernacular buildings, or any larger human settlement».

Vellinga (2006) a souligné, qu'eut égard à notre époque, que le défi majeur est de tirer les leçons et les principes fondamentaux de l'architecture vernaculaire et de trouver des façons d'intégrer fructueusement ces principes dans un contexte moderne. Cela exige une étude critique et une compréhension systématique et scientifique détaillée de ces principes et du savoir-faire vis-à-vis de la demande croissante d'un meilleur environnement intérieur: plus confortable et plus sain.

De même, Upadhyay (2007) indique que, bien que l'architecture durable soit présentée aujourd'hui comme une terminologie moderne, nos ancêtres avaient atteint tout de même un environnement confortable dans leurs habitations traditionnelles, répondant aux mêmes questions fondamentales que traite le concept actuel de la durabilité.

Hyde (2008), confirme que même avec les systèmes artificiels et les conditions optimales de concepts architecturaux développés au nord, la technologie n'a pourtant pas solution à tout, ce qui est constaté tous les jours dans les bâtiments modernes: à grand renfort d'énergie en hiver et en été, on arrive à peine à dépasser la qualité de confort qui peuvent offrir des styles architecturaux vernaculaires n'utilisant quasiment aucune énergie.

De même, ces styles architecturaux vernaculaires offrent un potentiel considérable de dispositifs ingénieux témoignant des effets importants que peuvent produire des techniques économes en matériaux et en énergie (Frey, 2010). Sur cette question, Kemajou et Mba (2011), confirment qu'il est légitime dans la recherche de solution de confort de se tourner

vers les méthodes de climatisation passive. Ces dernières méthodes offrent l'avantage de pouvoir consommer très peu d'énergie, ils sous-tendent en effet d'éviter l'utilisation des systèmes actifs, minimisant ainsi le recours aux énergies fossiles (Saljoughinejad & Sharifabad, 2015).

Cette thèse vise le développement et l'expérimentation sur des cas réels d'une méthodologie d'aide à la conception de l'habitat destinée aux concepteurs et aux professionnels du bâtiment du milieu aride pour l'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires d'une manière appropriée. L'objectif principal est d'améliorer l'efficacité énergétique de l'habitat en milieu aride et le confort des usagers.

Le but est d'outiller l'architecte, l'un des rares acteurs capables de promouvoir une part de réflexion susceptible de garantir aux citoyens, aux élus et aux acteurs économiques pour réaliser des solutions constructives davantage en harmonie avec les considérations économiques, sociales, environnementales et culturelles qui définissent le bâtiment durable (Susini, 2007).

La question de recherche qui est abordée dans cette thèse est:

Comment l'adoption des approches vernaculaires dans la conception de l'habitat en milieu aride peut contribuer d'une manière significative sur la composante énergétique et le confort de l'utilisateur?

Afin de formuler une réponse complète à cette question, les différentes sous-questions sont posées: quelle est la manière d'intégrer ces dispositifs et stratégies dans la conception du bâtiment et la façon dont ils sont liés dans leur ensemble? Comment pouvons-nous évaluer ces intégrations sur la performance énergétique de l'habitat et le confort de l'utilisateur? Enfin, une question de recherche prospective est posée: quels seraient les repères majeurs qui auraient l'influence la plus considérable sur la détermination de cette stratégie conception/énergie?

En réponse à ces questions, l'hypothèse principale est:

La viabilité d'adoption des stratégies et dispositifs bioclimatiques de l'architecture vernaculaire vers la pratique architecturale contemporaine de l'habitat.

Objectifs et méthodologie

Ce travail de thèse ouvre une nouvelle perspective d'investigation par la création d'une synthèse des stratégies de l'architecture vernaculaire pouvant contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'habitat en milieu aride et semi-aride. Cette thèse introduira une méthodologie permettant aux professionnels du bâtiment d'intégrer les stratégies et dispositifs vernaculaires dans la conception de cet habitat d'une manière appropriée.

Deux objectifs spécifiques ont été distingués:

- Modéliser et quantifier les retombées des stratégies conceptuelles vernaculaires;
- Améliorer le processus conceptuel d'optimisation de la performance énergétique de l'habitat par des solutions vernaculaires.

Ceci explique la double approche de la présente recherche:

- Une contribution d'ordre méthodologique centrée sur l'intégration globale des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception architecturale de l'habitat;
- Une approche d'ordre technique et opérationnelle centrée sur la construction d'un outil d'aide à la conception destiné aux professionnels et concepteurs pour la mise en œuvre de l'habitat performant.

Cette méthodologie vise d'une part à répondre aux nécessités croissantes des constructions pour le confort des usagers, réalisées sous les conditions climatiques et économiques, d'autre part de mieux contrôler la relation existante entre le climat et l'habitat dans son ensemble. C'est-à-dire de définir en fonction du climat la relation conception/énergie utile du bâti d'une manière appropriée.

La mise en œuvre de la méthodologie se décrit comme suit: comme première étape, une analyse détaillée de l'architecture traditionnelle (dispositifs vernaculaires) existante dans la zone climatique en question et ses spécificités architecturales doit être réalisée. Ce qui permet de répondre à la majorité des recommandations et stratégies annoncées par l'analyse bioclimatique. Cette première étape vise l'objectif suivant: rechercher le rôle que pourraient avoir ces dispositifs vernaculaires par rapport à la question de recherche et proposer un cadre d'étude original qui intègre les critères et les caractéristiques importantes relevées lors de cette première étape comme cofacteurs (indicateurs) déterminants de l'amélioration de la qualité énergétique des futurs habitats de la zone en question.

Les conclusions qui découlent de cette analyse seront considérées comme une base de données pour la deuxième étape, dont l'objectif est de proposer des recommandations architecturales qui visent à rendre l'architecture de l'habitat contemporain plus proche de la culture locale, de l'environnement et même de l'économie locale.

La manière d'intégrer ces dispositifs et stratégies identifiés précédemment dans la conception du bâtiment et la façon dont ils sont liés sera réalisée comme deuxième phase de la méthodologie. Ceci permet, au concepteur de mieux prendre en compte les apports dans le bilan de l'enveloppe du bâtiment, d'évaluer l'impact de ces solutions d'enveloppe vernaculaire et d'aborder lors de la phase d'esquisse la complexité de comportement dynamique du confort thermique de l'habitat à travers les interrelations mutuelles qu'entretient le concepteur avec son cadre bâti, plus particulièrement celles qui explicitent les processus décisionnels relatifs aux mécanismes d'intégrations des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat, afin de réaliser une mise en concordance de ces derniers dispositifs et stratégies de conception vernaculaires avec l'ensemble des systèmes et des technologies innovantes dans les techniques et les modes de conception architecturale contemporaine. Ces dernières intégrations seront évaluées par simulation dynamique en utilisant le logiciel EnergyPlus.

Structure de la thèse

L'organisation du présent travail de thèse est donnée comme suit: un aperçu du projet de recherche, ses motivations pratiques et théoriques, est donné dans le premier chapitre. La conception du projet de recherche est décrite, son développement et ses résultats sont présentés sous forme d'articles. Les processus développés pour valider le projet de recherche sont également discutés. Les trois articles sont résumés et leur contribution à la thèse est présentée. Chaque article est repris ensuite intégralement dans les chapitres suivants. Le dernier chapitre présente une discussion sur le développement de la méthodologie et les résultats de la recherche, les limites de la présente méthodologie et les contributions de la thèse ainsi que les futurs axes de recherches. Enfin, une conclusion générale est faite.

La synthèse de chaque article est comme suit: le premier article, présenté au deuxième chapitre, présente une méthodologie de faisabilité d'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat en milieu aride. Cet article expose les stratégies et dispositifs dominants de l'habitat vernaculaire dont les objectifs principaux sont les suivants:

- Diagnostiquer l'environnement thermique intérieur des formes d'habitat vernaculaire en milieu aride ce qui a permis de distinguer les différents types de connexions de dispositifs et stratégies;
- Analyser l'application de ces techniques vernaculaires passives dans la conception de l'habitat contemporaine pour réduire des besoins énergétiques et assurer le confort de l'occupant ce qui a permis de développer un cadre conceptuel permettant de réaliser ces différentes connexions de ces stratégies et dispositifs dans la conception du bâtiment contemporain.

Ces derniers dispositifs et stratégies découlent essentiellement du niveau de la conception (phase d'esquisse: intégration des dispositifs, évaluation de la composante énergétique et choix). Cela, comporte comme avantage de prendre en compte l'interaction thermique entre les composants du bâtiment et le bâtiment. La combinaison des différents types de

connexions correspond aux deux cas de figure: cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs et cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs.

L'article 2, qui correspond au chapitre trois, décrit le processus conceptuel relatif au premier cas de figure: cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs dans la conception de l'habitat. Cet article englobe une analyse bioclimatique de la ville de Biskra, Algérie, objet d'étude, comme première partie. La manière d'intégrer, dévaluer et de valider les dispositifs et stratégies vernaculaires, issus des résultats de l'analyse bioclimatique, dans la conception du bâtiment en prenant en compte les aspects énergétiques et le confort de l'occupant, est considérée comme deuxième partie de cet article.

Le choix du bâtiment porte sur une typologie de l'habitat réalisée durant les années 1970 par les frères El Miniawy dans le territoire de la ville de Biskra. Les techniques passives étudiées sont la mezzanine et la voûte : créent un volume qui est bien adapté au climat, ces types des volumes favorisent la distribution de l'air à l'intérieur des espaces et la ventilation. Différentes configurations ont été analysées pour évaluer l'efficacité de ces techniques passives. La combinaison de dispositifs (mezzanine et voûte) permet à une collection de ces derniers dispositifs de ce constitué comme groupe, permettant d'améliorer en plus la performance énergétique de ce bâtiment étudié, a été réalisée dans la troisième partie de cet article. La performance énergétique s'en trouve amélioré par rapport au bâtiment standard soit sur le plan de besoin en refroidissement, soit sur le plan de besoin en chauffage.

L'article 3, présenté au chapitre quatre, décrit le processus conceptuel relatif au deuxième cas de figure: cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs dans la conception de l'habitat. Cet article aborde la façon d'intégrer les stratégies et dispositifs vernaculaires, issus d'une analyse bioclimatique de la ville de Biskra, objet de l'étude, d'une manière plus appropriée.

Une autre typologie de l'habitat la plus répandue sur le territoire de la ville de Biskra, réalisée durant les années 1980, des immeubles résidentiels, a fait l'objet de l'étude de cas

pour le présent article. Les techniques passives étudiées sont la morphogenèse et la cour dans l'habitat. L'évaluation de l'impact de chaque intégration sur les besoins en refroidissement et en chauffage, permet d'identifier le degré de liaison entre les différentes configurations, dont la multiplicité et l'adéquation finissent par produire un confort relatif pendant les deux périodes estivale et hivernale et de réduire voire d'annuler la période de climatisation et de chauffage.

CHAPITRE 1

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES: MOTIVATIONS DE RECHERCHE

Dans ce chapitre, les motivations pratiques sont d'abord exposées, à savoir les facteurs qui ont motivé le projet de recherche. Les motivations théoriques sont ensuite présentées sous forme de résumé de la littérature relative à la conception architecturale vernaculaire et aux performances thermiques des procédés utilisés dans cette architecture vernaculaire des pays chauds qui, aujourd'hui, sont ignorés pour faire place à des systèmes d'air conditionné sophistiqués, mais onéreux. Des exemples de l'apport du vernaculaire dans le contemporain ont été donnés.

De plus, les méthodes de l'analyse et l'évaluation de ces stratégies de conception vernaculaire, leurs limites, qui permettent de mieux prendre en compte les apports dans les bilans de l'enveloppe du bâtiment sont discutées.

1.1 Motivations pratiques

Le projet de recherche a été motivé sur le plan théorique par plusieurs projets d'habitations existants en Algérie, où il a été soulevé dans ces derniers projets et autres, qui se réalisent à l'heure actuelle en milieu aride, de nombreux thèmes de réflexions relatifs à chaque projet. Cette expérience algérienne a été une source d'inspiration particulière. Explorer à fond et pouvoir par conséquent maîtriser, une partie de cette réalité signifie tout simplement pour les architectes de se donner des moyens de connaissance qu'ils pourront ensuite utiliser et développer.

Cette expérience, qui est par ailleurs admise dans toute discipline scientifique, signifie qu'on renonce à comprendre le monde dont lequel nous vivons, à démasquer ses défauts, à proposer des solutions de rupture ou de transformation telles que les extensions des villes et villes nouvelles proposées même dans les instruments d'urbanismes. Aujourd'hui en particulier,

quand l'idéologie dominante suggère ses modèles architecturaux nationaux et traditionnels, cette attitude démissionnaire relève de la complicité. Ces dernières solutions architecturales contemporaines de rupture posent de nombreux problèmes en obligeant l'installation de la climatisation pour assurer le confort estival, à la fois sur le plan de la qualité de l'ambiance et de l'économie d'énergie.

Dans ce climat aride et semi-aride, il a été constaté des projets d'habitat contemporains à grand renfort de pétrole en hiver et d'électricité en été, dont la qualité du confort dépasse à peine des projets d'habitat vernaculaires n'utilisant quasiment aucune énergie.

Cette situation géographique de la zone aride est remarquable. On y constate une grande diversité de modèles architecturaux traditionnels qui varient selon la région. Ces zones géographiques se différencient non seulement par le climat et le relief, mais aussi par la production de l'espace architectural qui varie selon les matériaux disponibles selon ces régions. Néanmoins, tous ces modèles architecturaux vernaculaires possèdent un dénominateur commun: ils sont l'expression d'une architecture locale réalisée en matériaux locaux et qui présente un potentiel de pouvoir consommer très peu d'énergie; ils sous-tendent en effet d'éviter l'utilisation des systèmes actifs, tout en minimisant le recours aux énergies fossiles.

La recherche a été d'abord motivée par ces besoins d'exploration de ces techniques constructives vernaculaires et de définir les meilleures façons de concevoir à bien les projets de constructions.

Aussi, cette recherche a été motivée sur le plan pratique par l'inadaptation des projets de l'habitat qui se réalisent à l'heure actuelle sous les conditions climatiques de la zone aride et semi-aride et plus particulièrement en Algérie. Le fait de concevoir dans un site sans mimétisme, mais plutôt d'une façon dialectique, répond en premier lieu à la nécessité de préserver l'environnement. Améliorer la qualité de cet habitat tient compte des compromis technico-économiques: il faut construire sans hypothéquer l'avenir en se liant pieds et poings

à des modes de construction coûteux et contraignants. Pour cela on construira en utilisant les moyens traditionnels, sans pour autant abandonner le potentiel d'industrialisation de l'heure.

1.2 Motivations théoriques

Le projet de recherche a été motivé sur ce plan théorique par un état de l'art sur la conception architecturale vernaculaire. Il s'agit d'architecture fortement influencée par le contexte local, les traits culturels et l'impact des milieux physiques. L'homme a longtemps cherché la meilleure enveloppe à donner aux bâtiments. Au fil des siècles, la recherche de cette enveloppe s'est inspirée de multiples méthodes, des mathématiques et de la géométrie (Jormakka, Schürer, & Kuhlmann, 2008). Le souci de concevoir avec l'environnement et les conditions naturelles n'est pas récent. Ceci a permis de décliner un grand nombre de principes conceptuels bioclimatiques: la problématique énergétique et environnementale a longtemps été écartée pour réapparaître dans les enjeux sociétaux que dans les années 1960-1970.

En zone aride, l'état de l'art a été consacré aux performances thermiques des procédés utilisés dans l'architecture vernaculaire de ces pays chauds. Tzonis et al. (2001) notent que, dans les milieux arides, les dispositifs vernaculaires proposés comme solutions apportées prennent en considération la morphologie urbaine locale et environnante, les scénarios climatiques, le climat et la nature esthétique du projet et offrent un environnement attractif et confortable. Ce qui est confirmé par Mazouz (2005): vouloir concilier les problématiques urbaines et bioclimatiques revient à réconcilier la préoccupation de l'urbanité retrouvée et celle de l'adaptation du cadre bâti au climat.

Il est important de souligner que l'intérêt récent pour l'architecture vernaculaire s'associe aux discours sur le thème de la durabilité. Cette leçon vernaculaire qui est riche dans ses applications, représente une «conception bioclimatique d'habitats adaptés à nos besoins et à nos modes de vie actuels est une chance de renouer avec l'esprit de l'architecture vernaculaire. La recherche d'économie de moyens, la composition avec les conditions climatiques locales plutôt que l'opposition sont la garantie d'architecture adaptée» (Oliva, 2006). En outre, les principes

bioclimatiques sont devenus un élément crucial pour parvenir au développement durable (Hyde, 2008; Szokolay, 2008b). Dans cette optique, Shashua-Bar, Pearlmutter, et Erell (2009) affirment que les connaissances accumulées depuis sur le sujet de la conception vernaculaire, ainsi que la croissance urbaine durant les dernières années, créent une nouvelle opportunité de développer des méthodologies appropriées aux régions sous leurs conditions climatiques.

L'évolution de la figure géométrique de base de cet habitat vernaculaire a été soutenue par un discours théorique. Cette géométrie générative, issue de l'art d'ornementation dans l'architecture vernaculaire, représente une totalité architecturale, un produit fini d'organisation spatio-sociale, avec la pointe de tradition chère aux quêteurs d'identités culturelles mal définies. On admet en général que les pratiques vernaculaires utilisées dans cet habitat vernaculaire génèrent une ambiance interne confortable lorsque l'écart thermique avec l'extérieur atteint une dizaine de degrés (Hyde, 2008). La préoccupation dominante est de donner aux constructions l'orientation et la forme qui sont les plus aptes à les faire bénéficier des variations saisonnières du soleil, en position et en intensité, tout en répondant aux besoins de chauffage, de climatisation, de ventilation et d'éclairage.

Frey (2010) distingue dans l'architecture vernaculaire en milieu aride chaud des techniques de construction ancestrales, fondées sur les énergies naturelles, qui permettent aux bâtiments de répondre au contexte climatique. Si les pratiques vernaculaires représentent une somme de «faire» et «d'être», la mutation sociale accélérée et le signe extérieur de modernité qui l'accompagne en font un symbole de négation du progrès (Frey, 2010). À cela s'ajoute une évolution spatiale de ces projets d'habitat basé essentiellement sur des systèmes rotationnels ou axiaux. Nous nous trouvons devant une proposition d'un géométrisme peut être parfait, mais qui ne répond pas nécessairement au besoin d'équilibre humain/espace ni aux aspirations sociales confusément exprimées.

Or, la recherche de totalité dans l'œuvre architecturale de cet habitat ne peut aboutir à l'élaboration d'objets purs et univoques, mais doit concrétiser un système cohérent de pôles. Un collage de formes prises dans différentes œuvres architecturales au passé peut, bien sûr,

donner dans leur maîtrise une forme riche, mais ce collage ne détruit-il pas les relations sémantiques qui assurent l'ordre de l'environnement?

De ce qui précède, il a été nécessaire de rattacher la présente recherche à l'exploitation de ces principes passifs et ces techniques et ce pour offrir les meilleures conditions d'ambiance, au moindre coût énergétique, sous les conditions climatiques des zones arides, qui sont très diverses, elles occupent 41% de la surface de la planète (Jules, 2015). La Figure 1-1 illustre ces dernières zones arides qui se trouvent dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie, d'Amérique et d'Australie, où l'aridité est due aux alizés qui se développent au nord et au sud de l'équateur entre 15 et 30 ° de latitude.

Alors qu'une zone chaude et aride se caractérise par une chaleur excessive et des précipitations insuffisantes et variables, il existe toutefois des contraintes et des variables climatiques, généralement dues à des températures différentes, au calendrier des saisons des pluies, ainsi qu'au niveau et à l'étendue de l'aridité. C'est dans ce contexte multiforme et très vaste que le présent projet de recherche a été motivé. «La bonne architecture a toujours été une architecture bioclimatique» (Oliva, 2006).

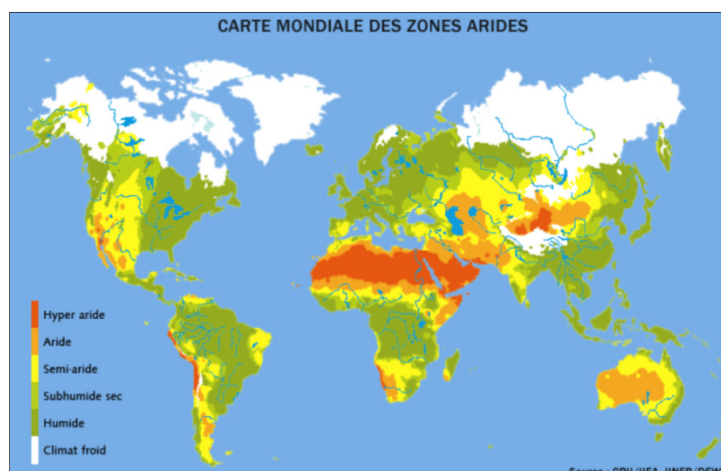


Figure 1-1: illustre la carte mondiale des zones arides
CRU/UEA, UNEP/BEWA

1.2.1 Le vernaculaire et les mesures de conception de l'habitat

La plupart des efforts qui ont été effectués par les chercheurs internationaux dans le domaine constructif vernaculaire à ce jour sont à la fois théoriques et pratiques; ces derniers efforts ont été axés sur les applications des principes de la durabilité plutôt que l'impact d'une telle application de ces pratiques constructives vernaculaires et leur identité architecturale: (locale, régionale, ou nationale) avec tous les corollaires des nouveaux concepts liés à l'écologie et l'environnement durables, sur la problématique énergétique. Cette identité architecturale est devenue une problématique mondiale, et ce, suite au phénomène de la mondialisation.

En ce sens, Waterson (1990) souligne que les résultants de l'adoption de pratiques occidentales dans les zones arides et semi-arides causent des problèmes aux autres régions au lieu de traiter leurs besoins locaux. Ce qui est confirmé par Albrow (1997) qui ajoute que la problématique des sociétés du milieu aride se pose dans l'influence de la culture occidentale qui est n'est pas adaptée à leur mode de vie local.

Yousuf (2011) a interrogé les défis et l'applicabilité des concepts d'architecture durable dans les pays situés en zone aride afin de proposer une stratégie visant à créer un environnement bâti plus durable. Pour lui, le problème réside dans l'adoption par de nombreux architectes locaux de méthodes et de techniques durables qui se sont développées ailleurs, tout juste comme formes et expressions et non pas en tant que contenus et principes. Il a noté aussi que dans de nombreux cas, les concepteurs adoptent systématiquement des idées architecturales empruntées à d'autres régions, sans même tenir compte de la relation directe avec leur environnement ou leur contexte naturel et culturel. De cette manière, nous pouvons retenir de l'architecture vernaculaire qu'elle constitue une source d'inspiration pour une architecture future durable.

Dans cette perspective, la tâche des professionnels du bâtiment a un impact environnemental considérable. La sensibilisation des concepteurs du bâtiment a augmenté suite à des préoccupations accrues sur la pollution, l'épuisement des ressources, la dégradation de

l'environnement et le changement climatique (Steven & Hugo, 2003). Dans cette vision, les concepteurs sont conscients que le but n'est plus la bonne conception du bâtiment qui est esthétiquement plaisant, mais la conception du bâtiment qui doit être respectueuse de l'environnement (Abdelsalam & Rihan, 2013).

De ce fait, il est important d'indiquer que cette recherche porte sur la reconstitution des processus qui pourront donner aux concepteurs et aux professionnels du bâtiment en milieu aride plus de conscience pour l'intégration des dispositifs vernaculaires d'une manière plus appropriée dans la conception du bâtiment contemporain. De plus, en architecture, concevoir un bâtiment correspondrait à résoudre un problème qui - contrairement aux sciences exactes - ne possède pas une seule solution (Conan, Guindani, Doepper, Aubry, Bevilacqua, & Supic, 1990). C'est ce qui fait de l'architecture depuis des siècles est un art et une science.

La revue des pensées et des écrits dans le contexte du vernaculaire démontre qu'il existe un accord entre les chercheurs et les théoriciens concernant la réflexion au vernaculaire, par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat. L'examen de cette littérature connexe ne relève que certaines approches qui offrent un modèle éprouvé et fiable répondant non seulement à la problématique énergétique et environnementale, mais de plus améliorant les valeurs sociales et économiques de la communauté locale.

Ces dernières approches portent sur l'interaction et la corrélation possible entre les besoins et les consommations d'énergie d'un bâtiment et sa morphologie ou sa géométrie. Toutefois, certaines vont au-delà et s'intéressent à d'autres éléments caractéristiques de la conception du bâtiment. À cet effet, cette section se concentre sur les différentes stratégies et dispositifs les plus dominants dans la conception de l'habitat vernaculaire. Ceci sous-tend que la catégorie des stratégies et dispositifs relative à l'enveloppe du bâtiment (compacité du bâti, l'habitat à patio, les parois extérieures, etc.) ainsi que celle relative à l'aménagement intérieur (parois poreuses, etc.) et les dispositifs ajoutés (tour à vent) se doivent d'être analysés.

1.2.1.1 Compacité urbaine

Cette stratégie de compacité urbaine est la plus répandue en zone aride. Cette dernière compacité se caractérise par un cadre bâti continu, des immeubles mitoyens, un faible recul des bâtiments par rapport à la rue, ainsi qu'une mixité des activités et des usages. Elle est la manière d'occuper le territoire, la façon de créer des liens (physiques et sociaux) en limitant les vides et les discontinuités, permet de créer des milieux de vie à la fois denses et conviviaux, favorables à la création de quartiers de courtes distances. Ce mode d'occupation du territoire se veut une réponse aux problèmes engendrés par l'étalement urbain, beaucoup mieux adaptée au contexte des zones arides et semi-arides

En milieu aride, la structure des villes constitue la première étape d'adaptation au climat. Des configurations urbanistiques répondent à trois contraintes majeures de ce type de climat: rayonnement solaire direct ou diffus et contrôle de la qualité de l'air (Bardou & Arzoumanian, 1978). Les constructions sont accolées les unes aux autres, une configuration qui permet de limiter les ouvertures sur l'extérieur et vise une typologie introvertie. Cette configuration de bâtiments repose sur l'association d'une stratégie de compacité et les dispositifs vernaculaires passifs dans sa conception, ce qui permet de réduire les gains et les pertes de chaleur dont l'objectif est de diminuer la consommation d'énergie (Abdelsalam & Rihan, 2013).

Depecker, Menezo, Virgone, et Stéphane (2001) ont mené une étude sur un groupement de bâtiments conçus à partir de la même cellule élémentaire. Parmi ces configurations se distinguent des formes monolithiques dont les unités sont regroupées et forment un seul et unique volume et des formes non-monolithiques décomposées en un ou plusieurs volumes distincts. Par une simulation à l'aide du logiciel Luciole, l'étude compare les consommations de chauffage des bâtiments en fonction de la compacité dans le cas du contexte climatique du Paris. Il a été constaté que, les bâtiments monolithiques sont parmi les plus compacts et les plus performants. Au contraire, les trois configurations les plus énergivores sont non-monolithiques, la moins performante étant la configuration qui présente la plus forte

compacité. La compacité est donc, un premier paramètre clé qui influence la réflexion conceptuelle à l'échelle du bâtiment, puis peu à peu à l'échelle du groupement de bâtiments. Le bâtiment, autour duquel la notion de compacité est habituellement employée en occident,.

Cette compacité dans l'agencement des bâtiments génère de l'ombrage pendant la période estivale où le rayonnement solaire est intense et les températures ambiantes élevées (Baduel, 2003), ce qui favorise le contrôle du rayonnement solaire qui représente l'un des éléments majeurs des choix urbanistiques et architecturaux (Le Quellec, Tréal, & Ruiz, 2006). Elle minimise également les déperditions thermiques pendant la période hivernale où les apports solaires sont minimisés et les températures ambiantes sont basses. Parfois les façades se rejoignent complètement et forment un passage couvert en voûte ou en rondins. Ils sont très obscurs, même en plein jour, frais et adaptés au climat, ce qui permet de circuler à l'abri du soleil.

Aussi, dans le patrimoine vernaculaire en zone aride, la morphologie urbaine et architecturale répond aux contraintes environnementales. Ces morphologies sont optimales en regard du contexte plus ou moins contraignant dans lequel elles s'insèrent : des réponses architecturales différentes ce qui a donné naissance à des solutions architecturales éprouvées et parfaitement adaptées aux conditions climatiques (ensoleillement, température, humidité de l'air, etc.) (Lechner, 2009).

Néanmoins, les études techniques des climats urbaines restent cantonnées à des laboratoires très spécialisés, axés sur un bilan complet en ondes courtes et en longues ondes, voire à l'étude du couplage rayonnement/aérodynamique (Bouyer, 2009), sans que ces applications prometteuses laissent entrevoir la possibilité d'une généralisation à l'ensemble des villes avec des moyens de modélisation raisonnables en coût et en temps (Hénon, Mestayer, Groleau, & Vooght, 2011). Parmi les connaissances qui manquent encore, il est essentiel de préciser la sensibilité des simulations par rapport au niveau de détail de la géométrie du milieu urbain (Aurélien, Diana, Nathalie, & Beckers, 2011).

1.2.1.2 Habitat à forme compacte

En adéquation avec le site et l'environnement local, de nombreux exemples vernaculaires en zone aride témoignent de la préoccupation environnementale (et plus particulièrement énergétique) de l'aménagement urbain. Victor Olgyay et Aladar Olgyay (1963b) différencient l'impact de la compacité du bâtiment sur les échanges de chaleur selon le climat et identifient les lignes directrices de conception bioclimatique pour quatre climats distincts (tempéré, froid, aride et tropical). Ils suggèrent notamment que, les formes compactes sont adaptées aux climats froids, car elles permettent de minimiser les déperditions de chaleur à travers l'enveloppe extérieure. Au contraire, pour les climats tropicaux, il convient de privilégier les formes allongées et bien orientées afin de réduire les gains thermiques et de maximiser les pertes de chaleur par une ventilation naturelle.

En zone aride, la compacité du bâti été un outil de conception très utilisé comme première adaptation à des conditions climatiques extrêmes afin de limiter les déperditions thermiques et assurer le confort de l'occupant (Bardou & Arzoumanian, 1978). Lin (1981) montre que la consommation d'énergie dépend de sa forme: plus la surface d'enveloppe extérieure du bâtiment est grande, plus la consommation en chauffage est importante. Pour consommer peu de chauffage, un bâtiment devra donc avoir une surface d'enveloppe extérieure la plus réduite possible. Puis, Menkhoff, Blum, Trykowski, Wentz, et Zapke (1983) introduisent la notion de compacité et le volume du bâtiment. Depuis ce temps, le paradigme de réduction de la consommation énergétique a induit à l'appréciation des vertus de la compacité du bâti.

Baker et Steemers (2000) indiquent dans leurs études que l'influence de la compacité du bâti dans la consommation d'énergie doit être considérée avec prudence. Les résultats identifient un indicateur qui définit le degré d'exposition des bâtiments à l'environnement extérieur: le ratio (zones passives/zones non passives) ce qui permet de minimiser les déperditions de chaleur pendant l'hiver. Ceci implique une réduction de la façade exposée à l'environnement extérieur, donc une réduction de l'apport en lumière naturelle et une hausse de la

consommation en lumière artificielle et en ventilation. Cet indicateur fournit une estimation du potentiel de techniques passives et basse énergie à intégrer dans le bâtiment.

Or, depuis le début des années 2000, de nombreux chercheurs ont démontré les limites de la compacité géométrique. Pessenlehner et Mahdavi (2003) en résument ces dernières limites dans les points suivants: ne considère pas la morphologie spécifique et de la complexité formelle du bâtiment; ne tient pas compte des caractéristiques (dimensions, proportions et distributions) des ouvertures vitrées qui ont pourtant des gains et pertes associés différents de ceux d'une paroi opaque isolée et ne prend pas en considération l'orientation du bâtiment qui a pourtant un impact sur l'irradiation solaire, les potentiels ombrages et donc les besoins et les performances thermiques du bâtiment.

En thermique du bâtiment, le volume passif est défini par Ratti, Baker, et Steemers (2005a) comme le volume bénéficiant d'ensoleillement ainsi que d'éclairage et de ventilation naturels. Empiriquement, selon les derniers auteurs, la zone passive est située dans une limite de six mètres à partir d'une façade vitrée, ou deux fois la hauteur sous plafond. Ainsi, même si une forme compacte est nécessaire pour réduire les besoins et les consommations de chauffage du bâtiment, un bâtiment trop compact aurait des effets néfastes sur l'éclairage naturel. Un compromis doit être trouvé lors de la conception du projet.

Aujourd'hui, la compacité fait partie des quelques règles permettant de donner une première prévision de la performance énergétique d'un bâtiment. Moins un bâtiment est compact, plus son développé de façades extérieures est grand par rapport à un bâtiment de volume cubique: ses déperditions de chaleur par unité de volume seront d'autant plus importantes (Gratia & De Herde, 2002; Fernandez & Lavigne, 2010). Au cours de ces dernières recherches citées précédemment, la morphologie du bâtiment a aussi révélée son influence sur d'autres performances du bâtiment, comme l'irradiation solaire totale reçue (Elseragy & Gadi, 2003; Ling, Ahmad, & Ossen, 2007).

Cette irradiation solaire considère comme un des outils les mieux contrôlés par les pouvoirs publics pour les pays développés (Holland & Toderian, 2008). L'exemple est celui de Vancouver, Canada, où le principe de la compacité de la ville est bien adapté (Buchoud, 2008). Des objectifs ont été atteints non seulement pour les aspects architecturaux (densité, occupation des sols, hauteur et forme des bâtiments, image), mais aussi pour les déplacements des occupants.

Serge Salat et Caroline Nowacki (2010) nuancent les bienfaits de la compacité: certes, elle permet d'avoir une première estimation des consommations de chauffage, mais pour les autres consommations, elle a besoin d'être pondérée par d'autres facteurs.

Dans ce contexte, les nouvelles technologies de modélisation et de simulation contribuent à œuvrer pour une conception des bâtiments optimisée, ou du moins raisonnée. Aujourd'hui, la maîtrise de la demande énergétique pour le seul fonctionnement du bâtiment donne de bons résultats, mais ne suffit plus. De par sa complexité, la conception d'un bâtiment est un domaine qui exige des approches de plus en plus globales et transverses, tenant compte non seulement de sa conception et sa construction mais aussi du climat, de la forme urbaine et de l'architecture dans toute sa diversité de composante.

1.2.1.3 Habitat à patio

La conception passive des bâtiments couvre un large éventail d'enjeux dont l'accès à la lumière naturelle, le chauffage passif ou encore le refroidissement passif (ventilation nocturne). La question de l'organisation spatiale des bâtiments à partir de l'ensoleillement a toujours été primordiale. Historiquement, les constructions vernaculaires ont montré l'intérêt de concevoir les immeubles avec un esprit bioclimatique et de recourir au maximum à l'énergie solaire passive (E. Morello & Ratti, 2008). Déjà, dans l'Antiquité égyptienne et romaine, les bâtiments étaient implantés de telle sorte qu'ils bénéficiaient de l'ensoleillement solaire direct (Hegger, 2003).

Ratti, Raydan, et Steemers (2003) ont approfondi dans une étude les formes des bâtiments en zone aride. Ils indiquent que, malgré de meilleurs potentiels en matière de ventilation et d'éclairage naturels, la forme en îlot avec cour intérieure est la plus exposée aux déperditions hivernales et aux surchauffes estivales. Elle semble donc moins performante thermiquement. Mais, cette particularité lui donne finalement un atout dans les climats arides, à condition de l'associer à des dispositifs régulateurs tels que des matériaux à forte inertie thermique selon ces mêmes auteurs. Cela diminue toutefois les possibilités d'ouvertures sur l'extérieur. C'est pourquoi cet espace extérieur, le patio, est enclos au sein de la maison. L'espace urbain environnant se caractérise par des rues profondes et sinueuses, amenuisant ainsi les temps d'ensoleillement des façades ce qui permet de garder l'air frais accumulé la nuit dans les ruelles.

Cette intégration de patio constitue une parfaite illustration d'adaptation au climat aride. En tant que structure radiative, l'habitat à patio permet le rafraîchissement par conduction et par radiation nocturne, en créant un courant d'air avec les ouvertures (Wright, 1979). Les phénomènes d'échanges thermiques dans ces espaces ont lieu sous forme de conduction, convection, rayonnement et évaporation. Selon la saison, chacun de ces principes de base contribue à une stratégie de contrôle, propre à un bâtiment donné. Certains principes, comme par exemple, le refroidissement par rayonnement (vers le ciel durant la nuit) ou par évaporation sont très efficaces.

Répondant au besoin oriental d'introversion, le patio ombrage une grande partie de la journée. Il se comporte comme un régulateur thermique, car la fraîcheur nocturne ne s'y estompe qu'en début d'après-midi (Raydan, Ratti, & Steemers, 2006). Ce patio voit alors son ombrage renforcé, tandis que diminue encore le temps d'ensoleillement des façades et que le vent devient incapable de chasser l'air frais nocturne (Ben Cherif & Chaouche, 2013).

Ces patios jouent un rôle dans la ventilation, de par leurs positions intermédiaires à l'aide des fenêtres en hauteur. Ils sont ensoleillés, protégés entièrement de la pluie pendant l'hiver et protégés contre l'irradiation du soleil en été grâce à leurs configurations géométriques (Ben

Cherif & Chaouche, 2013). Ainsi, après la réduction des fortes températures par la diminution des surfaces exposées au soleil, d'autres procédés et dispositifs viennent améliorer la protection thermique de l'habitat.

La conception architecturale du patio témoigne généralement d'une sorte de sagesse, d'un savoir-faire accumulé au fil des siècles par les sociétés et les constructeurs de diverses villes et cultures des régions de la zone aride (Abdulac, 2011). Le patio constitue, avec ses différentes configurations géométriques, un système idéal de défense contre l'environnement aride chaud (Ben Cherif & Chaouche, 2013). Son aspect de centralité, renforcé par un caractère multifonctionnel, représente le cœur de la vie communautaire et un lieu de passage obligé de la maison. Il est l'élément fondamental de la maison en cette zone et est profondément enraciné dans l'inconscient des populations, qui tendent à le reproduire systématiquement (Atif, 2011).

Dans le contexte de la pratique architecturale contemporaine, l'intégration de patio dans la conception du bâtiment, à des degrés divers selon le projet, permet de réduire les périodes de surchauffe durant la période de l'été. Par ailleurs, il était naguère habituel que ces intégrations soient utilisées de manière hybride, seule la combinaison de plusieurs systèmes de rafraîchissement permettant d'obtenir un effet suffisant (Ben Cherif & Chaouche, 2013). Pour ce faire, un système d'espaces de transition, propre à cette intégration du patio, permet de créer un espace de seuil servant de filtres à ce climat. Parmi les stratégies et dispositifs: Skifa, Iwan, les galeries....

1.2.1.4 Morphogenèse de l'habitat

En matière de morphogenèse (création et évolution des formes, développement progressif en tenant compte des phénomènes qui en sont à l'origine: topographie, histoire, influence culturelle, économie, contexte technologique ou encore énergétique), de nombreuses études portent sur l'influence de la morphogenèse des bâtiments sur la performance énergétique. Successivement en 2000 puis en 2005, Nick Baker et Koen Steemers, puis Carlo Ratti

montrent que le contexte urbain peut à lui seul diviser par deux la consommation énergétique d'un quartier (Baker & Steemers, 2000; Ratti, Baker, & Steemers, 2005b). Ces morphologies urbaines dépendent fortement du climat et sont conçues différemment dans chaque zone climatique. Elles ne peuvent pas changer le climat régional, mais peuvent modérer le microclimat de la ville et améliorer les conditions pour les bâtiments et leurs habitants. Ceci fait le point sur les principales recherches liées à l'identification des paramètres en jeu et la comparaison des formes urbaines.

L'intégration des paramètres d'exposition solaire dans la morphogenèse des bâtiments s'est observée tant dans les pratiques de l'architecture vernaculaire que dans les recherches plus récentes sur l'accès à l'ensoleillement direct (E. Morello & Ratti, 2008). En zone aride, la morphogenèse du cadre bâti est le résultat d'exploitation des données de l'environnement, une conception qui tire le meilleur parti de l'ensoleillement en jouant sur la géométrie, sur les propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés, sur l'organisation intérieure, sur le nombre et la dimension des ouvertures, ainsi que sur diverses protections fixes ou mobiles (Hyde, 2008). Les constructions vernaculaires ont montré l'intérêt de concevoir les immeubles avec un esprit bioclimatique et de recourir au maximum à l'énergie solaire passive.

Les bâtiments étaient implantés de telle sorte qu'ils bénéficient de l'ensoleillement solaire direct. Le principal enjeu de la conception solaire réside dans la gestion des possibles bénéfices que l'on peut obtenir de l'ensoleillement dans et autour des bâtiments. Ces bénéfices sont relatifs au confort thermique, au confort visuel et à la conservation de l'énergie. Ceci constitue la première adaptation au climat qui est réalisée par une densité du bâti et par les contours extérieurs des bâtiments, qui aide à se soustraire aux températures extrêmes (Bardou & Arzoumanian, 1978).

Ce sont des tissus urbains traditionnels qui optimisent la densité pour constituer des îlots compacts et étanches à l'air. Là encore, les dispositifs vernaculaires rejoignent les préoccupations actuelles de l'architecture bioclimatique.

Parallèlement, la dépendance énergétique des formes urbaines soulève un questionnement puisqu'elles n'ont pas toutes les mêmes performances (Maïzia, 2007). La diversification des formes urbaines peut également contribuer à augmenter l'efficacité globale des îlots et à réduire leur impact sur l'environnement (Rogers & Gumuchdjian, 2000). Associée à la présence de paysages naturels, l'exploitation et la mutualisation de nouvelles technologies à l'échelle du quartier, ou encore l'utilisation des ressources locales, la mixité des formes urbaines et la granulométrie de densité: résultats expérimentaux de l'analyse de la densité, seraient un moyen de compenser les inconvénients de certaines typologies pour atteindre des performances recherchées à une échelle plus large. Richard Rogers, architecte reconnu en construction durable, suggère même d'inventer de nouvelles formes d'urbanisme holistique et globale (Rogers & Gumuchdjian, 2000).

1.2.1.5 Densification de l'habitat

Les recherches tentant de définir, évaluer ou qualifier la densité sont nombreuses. Parmi elles, beaucoup ont permis d'établir une liste plus ou moins exhaustive des avantages et inconvénients qui lui sont théoriquement liés. Marry (2009) indique que ces recherches sont essentiellement mises en exergue les avantages matériels de la densité: outre les aspects économiques, la densité permettrait de pallier aux faiblesses environnementales de l'étalement urbain et la densité répondrait aux enjeux sociaux du développement durable.

Le changement d'échelle passe ainsi de l'échelle du bâtiment individuel à l'échelle urbaine, phénomène qui nécessite des réflexions sur l'efficacité énergétique induit implicitement une conception des tissus urbains en termes de densité énergétique et non plus seulement de densité urbaine. Baker et Steemers (2000) illustrent que la texture urbaine peut multiplier par deux la consommation énergétique d'un bâtiment. En 2010, Serge Salat et Caroline Nowacki indiquent que, les consommations liées à l'éclairage et au confort thermique (chauffage et refroidissement) sont quatre fois plus faibles pour le tissu dense des villes européennes que pour les nouvelles villes chinoises composées de tours isolées (Serge Salat & Caroline Nowacki, 2010).

Pourtant, à ce jour, aucune densité urbaine idéale n'a été déterminée. Et aucune étude n'a clairement démontré quelles sont les typologies urbaines les plus performantes du point de vue énergétique. Cette construction d'une densité passe entre autres par un travail sur la typologie et le dimensionnement des bâtiments. En 2003, Bordas-Astudillo a établi un lien entre quelques paramètres de la forme urbaine et la perception de la densité. Parmi les paramètres les plus déterminants, l'auteur a entre autres identifié la hauteur des bâtiments et l'uniformité du cadre bâti. Pour le premier facteur, plus les immeubles sont hauts, plus les habitants ont tendance à considérer le quartier comme dense (Bordas-Astudillo, 2003).

En effet, en 2007, Alain Sallez affirme que la continuité des rues et le gabarit urbain (disposition et hauteur des bâtiments) influencent la perception que les habitants ont de la densité (Sallez, Devillers, Haumont, Nappi-Choulet, & Warnier, 2007). Ces résultats sont corroborés par les conclusions des travaux de Ted Shelton qui montrent que, la variété des constructions est un facteur prédominant pour la bonne acceptation de la densité (Shelton, 2008).

De la même manière, Solène Marry montre que la mixité des formes urbaines peut être un gage d'acceptabilité de la densité: il faut donc favoriser la variété des typologies d'habitats, entre individuel et collectifs, formes urbaines continues et discontinues (Marry, 2009). Sur la base de plusieurs exemples de logements, Zunino, Naudin-Adam, Castano, et Meisel (2007) retiennent la variété architecturale et l'imbrication des volumes comme outils permettant de préserver l'intimité et la convivialité des îlots. Leur rapport recommande notamment de favoriser la diversité et la mixité des typologies au sein des îlots et la dilatation de l'espace à travers des îlots plus ouverts, transparents et perméables.

Dans l'architecture vernaculaire Nord-Africaine, lorsque seule la densification du tissu par morcellement des parcelles ne suffisait plus l'on a recouru à des solutions originales: les maisons s'avancent au-dessus de la rue grâce à des encorbellements en saillie, qui s'appuient sur les rondins. Parfois les façades se rejoignent complètement et forment un passage couvert en voûte ou en rondins. Elles permettent de récupérer à hauteur du premier étage, le peu de

place perdue dans la rue déjà étroite. Les rues sont très obscures, même en plein jour, frais et adaptées au climat ce qui permet de circuler à l'abri du soleil (Ravéreau & al, 2007).

Ces dernières solutions, dont le kbou, un encorbellement gagné sur la rue dans l'axe de la pièce fait partie représentent une excroissance judicieuse. Les longueurs des espaces intérieurs dépendant complètement du matériau, en l'occurrence également ici de la structure, il a fallu recourir à une solution ingénieuse, un débordement des pièces vers l'extérieur à l'étage, ce qui va créer un encorbellement en façade (Fathy, 1986). Cette excroissance vers l'extérieur va agrandir l'espace intérieur, une sorte de gain d'espace sur le vide. Additionnés à cela, leur traitement et leur juxtaposition vont participer à l'enrichissement de façades aveugles et ainsi briser leur monotonie et améliorer le confort de l'occupant.

1.3 Synthèse

Les mesures de conception de l'habitat vernaculaire présentées permettent d'ajuster ou de contrôler les paramètres climatiques pour les rendre moins agressifs. Ces mesures et systèmes puisés de l'architecture vernaculaire ont prouvé leur efficacité et sont en mesure de répondre aux exigences de la vie actuelle tout en s'intégrant à l'architecture contemporaine. L'attention nécessaire, pour une planification et une conception appropriée, est rarement attirée dans les régions chaudes et arides. Et ce, malgré ce potentiel du savoir-faire traditionnel existant de l'architecture passive.

Ces dernières mesures et systèmes puisés de l'architecture vernaculaire peuvent être utilisés à condition qu'ils soient ajustés et améliorés pour répondre aux exigences de la vie actuelle et de s'intégrer à l'architecture contemporaine. Ce qui permet de diminuer l'utilisation abusive de l'énergie non renouvelable tout en veillant à l'assurance d'une haute qualité environnementale du bâtiment.

1.4 Intégration conceptuelle de la climatisation naturelle

En Californie, afin de se protéger de la chaleur, les Amérindiens Yokut regroupaient leurs habitations sous un même pare-soleil continu fait d'épais branchages (Rapoport, 1972). Au Nouveau Mexique, les Amérindiens Pueblo ont construit le village de Acoma selon des principes d'accès à l'ensoleillement: les maisons à toiture-terrasse qui constituent le village sont exposées plein sud et profitent ainsi de l'ensoleillement hivernal; en été, les avancées de toiture-terrasse freinent l'ensoleillement direct et protègent les logements d'éventuelles surchauffes (Knowles, 1981). Le principal enjeu de ces formes architecturales réside dans la gestion des possibles bénéfices que l'on peut obtenir de l'ensoleillement dans et autour des bâtiments.

Pelegrin et Pelegrin-Genel (2007) indiquent que, les bénéfices des stratégies vernaculaires sont relatifs au confort thermique et visuel ainsi qu'à la conservation de l'énergie. Or, selon les saisons, les stratégies d'action solaire sont généralement opposées: si en hiver, le but est de maximiser les apports solaires gratuits, en été ces mêmes apports seront à l'origine de surchauffes dont il faut se protéger. La question est de savoir comment concevoir l'occupation de l'espace en considérant les besoins d'ensoleillement ou de protection solaire. La conception, qui inclut le positionnement, l'orientation et le dimensionnement des bâtiments, va engendrer des masques plus ou moins importants.

L'architecture vernaculaire est très riche en exemples comme le patio et la terrasse, situés en continuité à des espaces couverts, qui s'ouvrent sur ces derniers et qui tiennent des fonctions différentes selon les régions: galerie, loggia, moucharabieh, sabat ou iwan etc. Ainsi, après la réduction des fortes températures par la diminution des surfaces exposées au soleil et par la répartition des pièces, d'autres procédés et dispositifs viennent améliorer la protection thermique (Ben Cherif & Chaouche, 2013).

1.4.1.1 Le moucharabieh

Les moucharabieh et les mashrafiyeh sont des dispositifs de ventilations naturelles forcées fréquemment utilisées dans l'architecture traditionnelle des pays chauds. La réduction de la surface produite par le maillage du moucharabieh accélère le passage du vent. Celui-ci est mis en contact avec des surfaces humides, bassins ou plats remplis d'eau qui diffusent leur fraîcheur à l'intérieur de la maison. Ces dernières mashrabiyyeh ont des rôles et des dimensions différentes. Des jarres de terre cuite peuvent y être disposées à la fois pour refroidir l'eau contenue et l'air entrant. Des capteurs d'air peuvent être disposés en relation avec les pièces principales.

Dans l'architecture vernaculaire, la conception du bâtiment est basée sur la stratégie de ventilation naturelle. L'organisation des espaces intérieurs dépend étroitement du positionnement des dispositifs de ventilation naturelle. Le moucharabieh est une ouverture en panneaux ajourés de bois ou de gypse, qui assure la vue vers l'extérieur sans être vu tout en favorisant la ventilation naturelle sur les façades extérieures et la pénétration de la lumière diffuse, moins agressive pour l'œil que le rayonnement direct. L'air chaud, tendant à s'élever, est remplacé par de l'air frais en créant un courant d'air sans qu'il y ait besoin de vent à l'extérieur (Izard & Guyot, 1979).

Les moucharabieh associent efficacement à la fois éclairage naturel, ombrage, ventilation et vue vers l'extérieur (Belakehal & Tabet, 2003). La réduction de la surface produite par le maillage du moucharabieh accélère le passage du vent. Celui-ci est alors mis en contact avec des surfaces humides, bassins ou plats remplis d'eau qui diffusent leur fraîcheur à l'intérieur de la maison (Ben Cherif & Chaouche, 2013).

Lorsque l'on recherche simultanément la protection solaire et le maintien d'une ventilation, on peut utiliser des fermetures perméables à l'air: c'est le cas des persiennes, des volets projetables, des volets persiennes, des claustras ou des moucharabiehs. L'importance des

surfaces sous lesquelles ces éléments sont utilisés dépendent de la sévérité des conditions climatiques.

Bien que le recours à ce type de dispositifs se justifie par d'évidentes raisons, tant historiques, que sociologiques ou climatiques, l'influence d'architectes étrangers a paradoxalement un rôle majeur dans la production savante. En raison de la profonde rupture avec la tradition, due aussi bien à des raisons culturelles qu'à des contraintes de réalisation, l'habitat contemporain individuel en zone arides a perdu leur position autrefois dominante en milieu urbain. La production populaire d'habitat vernaculaire dépasse quantitativement très largement la production savante. La réalisation de ce type d'habitat vernaculaire reste cependant comparativement plus fréquente au Maghreb que dans les autres parties de la zone aride, bien qu'elle y soit désormais en déclin aussi.

1.4.1.2 Les ouvertures

Les recherches menées sur les ouvertures et leurs protections ont certes abouti à plusieurs vérifications et précisions des connaissances antérieures (Etzion, 1995); mais ce sont plutôt les développements de nouveaux dispositifs et composants qui caractérisent notre ère. Grâce à leurs propriétés, ces nouveaux composants permettent d'exploiter l'éclairage direct par le soleil (Edmonds & Reppel, 1996).

Des études comparatives ont été réalisées sur des solutions passives dans le but d'améliorer les performances thermiques. Les fenêtres et les matériaux transparents sont des composants de l'enveloppe qui ont été introduits et doivent être traités avec une grande attention dans les climats chauds de l'Afrique sub-saharienne et ceux de basse altitude en particulier. Les études sur les fenêtres et les dispositifs de protection solaire ont été réalisées par la simulation et montrent la vulnérabilité de ces composants. La comparaison des ouvertures montre que la réduction des surfaces de baies favorise le confort et entraîne des baisses en termes de besoin en climatisation. Les études de sensibilité locale réalisées nous renseignent

que la conception des enveloppes doit être appréhendée séparément lorsqu'il s'agit d'un bâtiment en évolution libre et d'un cas à ambiance contrôlée.

Lorsque l'occultation des ouvertures n'est pas efficace, le rayonnement solaire pénètre directement par les fenêtres et chauffe l'intérieur du bâtiment. Les températures qui y règnent sont donc très influencées par l'orientation de ces fenêtres. L'effet d'échauffement, entraîné par la pénétration de l'énergie solaire par des parois vitrées ou des fenêtres closes mal protégées, est augmenté par le fait que l'énergie se transforme en chaleur à l'intérieur du bâtiment et que cette chaleur ne peut pas se dissiper par convection vers l'extérieur et encore moins par rayonnement de grande longueur d'onde pour lequel le verre est résistant (Givoni, 1978a).

En milieu aride, les ouvertures qui donnent sur le patio; les différentes pièces s'ouvrent vers l'intérieur, se protégeant ainsi des vents dominants hivernaux et partiellement des rayons solaires d'été. Cette organisation spatiale à travers ces ouvertures limite considérablement les déperditions thermiques en hiver et contribue fortement à la fraîcheur des lieux pendant les mois les plus chauds de l'année. L'orientation de ces ouvertures affecte l'ambiance intérieure de deux manières par la régulation de l'influence de deux facteurs climatique distincts: le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et les pièces orientées selon différentes directions; les problèmes de ventilation sont en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction.

Les ouvertures donnant sur le patio sont larges: celles du haut permettent l'évacuation de l'air chaud, celles du bas descendent jusqu'au sol. Ainsi, l'air très chaud rentre dans la maison à travers le patio ou il est rafraîchi par évaporation (plantes et fontaines); puis l'air frais pousse l'air chaud accumulé dans la maison et l'évacue à travers de petites percées, ce qui forme un circuit d'air en conjonction avec les portes et les fenêtres (Fardeheb, 1989).

Les ouvertures sont grandement responsables des déperditions thermiques ou gains de chaleur non souhaités dans une habitation. Même avec les nouvelles technologies de

protection des ouvertures mises en place, le recours à la climatisation et au chauffage mécanique se renforcent de plus en plus (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie [ADEME], 2010). Les autres façades de l'habitat sont conçus sous forme de mitoyenneté, d'autres se présentent sous forme presque aveugle (Bougherira, 2016).

1.4.1.3 La cheminée d'air

La cheminée d'air est un autre système destiné à profiter des vents frais dès qu'ils soufflent. Cette ouverture reçoit le vent qui s'engouffre dans le conduit, expulsant l'air chaud accumulé dans le patio, traversé auparavant les pièces avoisinantes (Ben Cherif & Chaouche, 2013). Très répandue en Iran, en Irak et en Égypte, orientée en direction du vent dominant, elle s'élève sensiblement au-dessus des terrasses, afin de profiter du moindre filet d'air. Le but est de ne pas souffrir de l'obstruction des bâtiments adjacents et de réduire la poussière (Bardou & Arzoumanian, 1978). Ce procédé peut être monodirectionnel et orienté vers le nord (au Caire, par exemple), comme il peut être bidirectionnel ou multidirectionnel.

1.4.1.4 Malqaf ou badgir

L'architecture vernaculaire offre des exemples de systèmes architecturaux destinés à améliorer la ventilation naturelle de l'habitat: ce sont les capteurs de vent « Malquarfs » employés notamment au Moyen-Orient (Izard, 1993). Le principe de Malqaf est double: capter l'air à une hauteur suffisante pour échapper aux poussières et avoir une vitesse d'air suffisante pour générer un flux, puis l'humidifier pour le refroidir par évaporation. Cela se fait au moyen d'échangeurs ou déflecteurs, où l'eau s'écoule en cascade à travers des mailles métalliques et des bacs remplis de charbon de bois.

Dans certains cas, ce système de refroidissement passif consiste en une ouverture munie d'un conduit en bois, en métal ou en brique, incliné à 45 degrés vers le vent dominant qui s'engouffre dans le conduit, durant la journée (lorsque la température intérieure est inférieure à la température extérieure). L'acheminement de l'air extérieur avec une température plus élevée au travers du conduit de cheminée permet le rafraîchissement de l'air par l'enveloppe

du bâtiment (Liébard & De Herde, 2005). Lorsque l'air extérieur est plus chaud, la ventilation repose sur le tirage thermique qui favorise l'extraction de l'air par le patio au centre du bâtiment. La nuit, en l'absence de vent, la tour agit comme une cheminée, dirigeant cette fois l'air chaud vers l'extérieur, alors que pénètre par les fenêtres l'air frais du patio. Une jarre en terre cuite (mazaria), remplie d'eau, élève l'humidité relative de l'air (Hurpy, 1978).

Selon Badran (2003) la principale force canalisant l'air dans ces tours est la différence de densité de l'air entre l'intérieur et l'extérieur de la tour. Puisque l'air de l'intérieur est plus frais que celui de l'extérieur, sa densité est plus élevée et la différence de densité crée un effet de cheminée inverse. Cet effet se traduit dans l'écoulement de l'air à travers la tour vers les espaces conditionnés.

La performance des tours de refroidissement a été étudiée pour différentes régions climatiques de la Jordanie, telle que le désert, la vallée de la Jordanie (Ghor) et Aqba, où le conditionnement de l'air est nécessaire. Il a été constaté que, sous ces climats, la hauteur des tours nécessaire pour créer un flux convenable est de moins de 9m. Contrairement à d'autres régions, cette hauteur des tours peut atteindre jusqu'à 15m de hauteur (Hurpy, 1978). Le rafraîchissement par évaporation est l'un des plus anciens systèmes utilisés pour le conditionnement de l'air dans les climats arides, ce concept était utilisé dans les anciennes villes du Moyen-Orient et du Golf.

En Syrie, ce procédé est appelé Bandigne, en Iran c'est Baudgeer et en Arabie saoudite on l'appelle le capteur de vent. La forme simple de cette structure fournit seulement un refroidissement appréciable. Lorsque la vapeur est introduite dans ce système qui produit le refroidissement par évaporation. Dans la plupart de ces structures, l'eau s'infiltre aux soubassements des murs de la structure, donc l'air passé par-dessus de ces murs est rafraîchi par évaporation. Bahadori (1978) a considéré plusieurs critères de conception telle que la vitesse du vent et la température.

1.4.1.5 Dispositifs d'humidification

Dans les climats arides et secs, la température de l'air peut être diminuée par l'humidification. Il résulte un air plus humide mais plus frais. L'architecture vernaculaire offre des exemples de systèmes d'humidification de l'air. C'est le cas notamment des tours à vent iraniennes, ou les maziaras d'Égypte qui exploitent l'effet gargoulette. Selon Hassen Fathi, ce procédé utilisant l'eau et le charbon est apparu en Égypte et en Iran en 1987. Il permet un triple rafraîchissement avant de regagner l'espace intérieur.

Un récipient ou une jarre en argile est suspendue à l'intérieur du conduit vertical de la tour, et au-dessus du récipient du charbon est placé sur une grille au niveau de la base inférieure du conduit. Un plan d'eau reçoit en dernière étape l'air qui va passer directement dans l'espace intérieur. L'air venant de l'extérieur pénètre dans la tour, traverse la jarre d'eau poreuse et subit un refroidissement et une humidification. Les gouttes d'eau viennent tomber sur le charbon, s'évaporent et se refroidissent pour refroidir ensuite davantage l'air déjà rafraîchi par son passage à travers la jarre. Et à son passage dans les espaces de vie, il subit un refroidissement supplémentaire par évaporation au niveau de l'extrémité du conduit de la tour.

Le rafraîchissement par évaporation apporte une sensation de fraîcheur, que l'eau provienne de fontaines, de bassins, de l'arrosage du patio ou d'autres dispositifs d'humidification. L'eau et la végétation sont présentes à tous les niveaux de l'aménagement de l'habitat. Par ailleurs, en tant que structure radiative, la maison à patio permet le rafraîchissement par conduction et par radiation nocturne, en créant un courant d'air avec les ouvertures (Izard & Guyot, 1979). Ce qui est confirmé par Izard, l'air provenant du patio, éventuellement rafraîchi par l'eau et la végétation, pénètre dans les pièces de séjour orientées au nord; l'air chaud est alors repoussé en haut des pièces et il s'échappe par les ouvertures qui y sont aménagées. Des variantes existent avec le concours des tours à vent (Izard, 1993).

1.5 Synthèse

Les deux sources de motivations pratiques et théoriques ont été alignées, ce qui a permis d'aller plus loin dans cet axe de recherche qui porte sur la manière et la façon d'intégrer ces dispositifs et stratégies cités dans la présente section dans la conception du bâtiment. Ceci permet au concepteur d'aborder, lors de la phase d'esquisse, la complexité de comportement dynamique du confort thermique de l'habitat à travers les interrelations mutuelles qu'entretient le concepteur avec son cadre bâti, plus particulièrement celles qui explicitent les processus décisionnels relatifs aux mécanismes d'intégrations des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat le but est de réaliser une mise en concordance de ces derniers dispositifs et stratégies de conception vernaculaire avec l'ensemble des systèmes et des technologies innovantes dans les modes de conception architecturale contemporaine.

1.6 Apport du vernaculaire dans les pratiques architecturales contemporaines

Les études sur le vernaculaire intéressent de plus en plus de chercheurs et concepteurs. Par le biais des publications, des actes de leurs conférences et par des réalisations concrètes. La réflexion contemporaine se base sur la prise en charge de l'environnement et son rapport direct à l'homme, elle cherche à minimiser l'éparpillement qui est consommateur d'énergie et donc à préserver les grands espaces naturels pour conserver la biodiversité. La typologie d'une tour s'avère être un exemple subtil de forme architecturale contemporaine, qui va réduire les circulations du fait de son plan et qui pourra concentrer plusieurs activités sur un même site. Parmi ces exemples, des tours, dites écologique.

1.6.1 La tour 30 St Mary Axe

Cette tour (Figure 1-2) est située dans le quartier de la City à Londres. Cet exemple de tour durable illustre comment minimiser l'énergie à travers un cas d'étude: ventilation naturelle, stratégie vernaculaire, une ingéniosité de la superposition judicieuse des plans des différents niveaux, avec une rotation en spirale, crée de sortes de petits atriums donnant en façade, ce

qui permet d'assurer une ventilation naturelle de tous les espaces, sans avoir recours à des systèmes mécaniques. Cette ventilation naturelle est principalement utilisée pour le contrôle de la qualité de l'air intérieur et aussi pour fournir le confort thermique en été. Elle est provoquée par une différence de température ou de pression entre les façades d'un bâtiment.



Figure 1-2: La tour 30 st Marie
Axe Norman Foster Londres

Norman Foster, architecte concepteur du projet, dira avoir développé «une architecture écologique, la première du genre à Londres, qui sans doute, par son indiscutable qualité, sera une référence dans la génération émergente des immeubles de grande hauteur» (Norman, 2008). La rotation du plan en spirale montre le décalage des niveaux et les découpages triangulaires qui permettent la création de petits atriums ou puits de lumière comme l'illustre la figure 1-3. Ces derniers filtreront la lumière naturelle, ce qui contribuera à une meilleure qualité d'ambiance et minimisera les besoins en énergie.

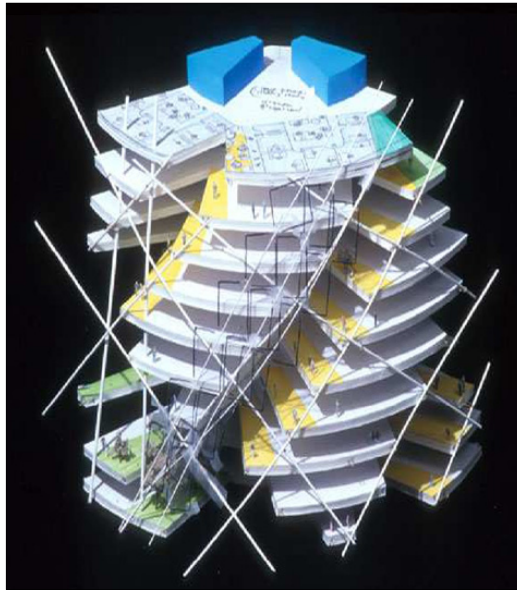


Figure 1-3: Maquette illustrant le décalage des niveaux

Par ailleurs, la forme aérodynamique contribue à favoriser une meilleure ventilation, cette forme fuselée à la base va améliorer les conditions environnementales de la place publique où la tour est implantée, en lui conférant un bon niveau d'ensoleillement. Pour cela, des essais de simulation à l'aide d'une maquette numérique, comme l'illustre la figure 1-4, ont été réalisées, dont l'objectif était de prendre en compte l'environnement immédiat, une autre stratégie vernaculaire d'adaptation au contexte local.

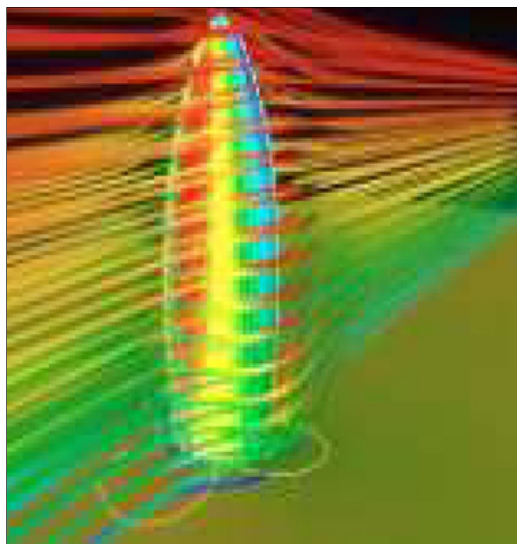


Figure 1-4: Illustre un essai de simulation à partir d'une maquette numérique

Dans cet ordre d'idée de réduction d'économie d'énergie, plusieurs tours écologiques ont vu le jour ces dernières années, certifiées à l'aide du système Haute Qualité Environnementale (HQE®). Cet apport du vernaculaire dans le contemporain contribue à intégrer non seulement de nouveaux dispositifs dans les études sur le vernaculaire, mais aussi dans les études pour le contemporain.

1.6.2 Immeuble administratif contemporain inspiré des tours à vent

La ventilation naturelle de ce bâtiment contemporain de bureaux administratifs (figure 1-5) est établie par l'action de cheminées ressortant sur la toiture, ces dernières cheminées jouent le rôle des tours à vent du Moyen-Orient.



Figure 1-5: Illustre le bâtiment administratif contemporain

Source: (Salah, 2010)

Le principe de ces tours à vent est le captage des vents dominants comme l'illustre figure 1-6. Une fois captés, ils rafraîchissent et humidifient l'air chaud depuis le sous-sol et passant par-dessus des bassins. De ce fait, la température de l'air est abaissée. Cet exemple constitue une source d'inspiration pour l'architecture contemporaine d'aujourd'hui (Salah, 2010).

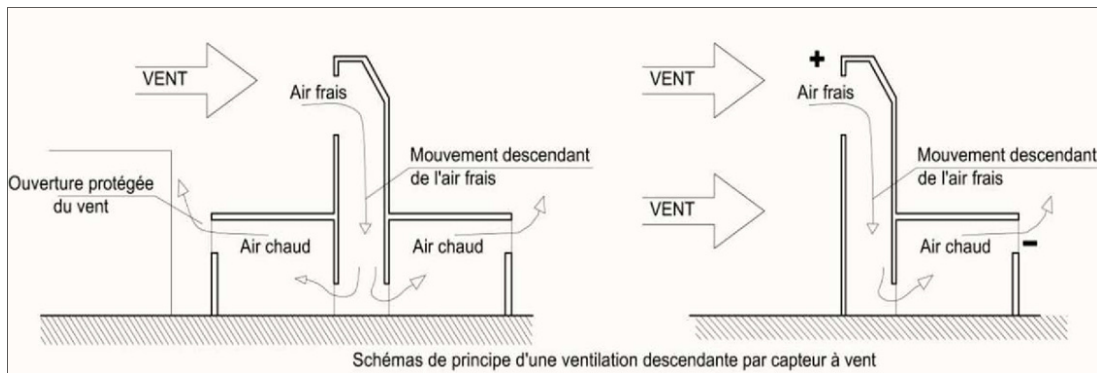


Figure 1-6: Illustre le schéma de principe de capteurs à vent

Source: (Sylvie, 210-2011)

1.7 Limites des outils d'aide à la conception et énoncé du problème

Même si la pratique est peu répandue, la modélisation architecturale de différentes stratégies de conception de type vernaculaire peut être supportée par des mesures faites sur le terrain ou par l'utilisation d'outils de simulation. Des premières études de modélisation menées par le gouvernement américain qui ont portées sur l'évaluation de l'environnement thermique des bâtiments, datent des années 1960 (Kusuda, 1999). Ces modes de conception et de représentation ont évolué vers les outils numériques. L'industrie a évolué dans la production des matériaux et dans les techniques constructives et le métier s'est diversifié en plusieurs spécialités, dont l'énergétique. Les professionnels proposent des démarches de conception avancées et relativement élaborées (Dehauss, 1988). Cependant, le concepteur n'a pas souvent les connaissances ni l'accès aux diverses informations nécessaires pour faire les choix adéquats entre plusieurs alternatives. De plus, ces derniers modes de conception sont jugés trop complexes et trop lourds (Tianzhen et al., 1997).

En fait, les constatations confirment que la plupart de ces outils de simulation thermique ne sont pas compatibles avec les méthodes de travail et besoins des architectes (Hong, Chou, & Bong, 2000; Van Dijk & Luscuere, 2002; Gratia & De Herde, 2002;). Il est rapporté dans la littérature que l'exploitation de ces outils par les architectes est minime (Warren, 2002).

D'autres outils ont été développés pour aider les architectes et designers à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, ce qui est concrétisé par: la naissance des processus de conception, l'évolution dans la prise de décisions et l'impact sur la performance énergétique et le coût des bâtiments (Hensen, 2004). Cependant, malgré la prolifération de ce nombreux outils développés, les architectes et les concepteurs ont toujours des difficultés à manipuler ces derniers outils développés (Punjabi & Miranda, 2005b). Dans cet ordre d'idées, des approches basées sur la simulation de détails exploitant par exemple, EnergyPlus, TRNSYS, DOE-2 ont été développées, dont l'objectif de concevoir des modèles d'édifices individuels énergétiquement performants (Lee et al., 2011; Hawkins, Hong, Raslan, Mumovic, & Hanna, 2012; P.-Y. Kuo & J.-C. Fu, 2012), bien que satisfaisant d'un point de vue des performances atteintes notamment pour les modèles d'édifices individuels, elles ne peuvent être développées à grande échelle pour des raisons à la fois techniques, économiques et environnementales.

La modélisation des stratégies de conception vernaculaire nécessite des outils qui permettent de mieux prendre en compte leurs apports dans les bilans de l'enveloppe du bâtiment et d'évaluer l'impact des stratégies conceptuelles d'enveloppe vernaculaire. Ces dernières stratégies ont été évaluées généralement à l'aide de trois outils adaptés au climat en question (Givoni, 1978a): le graphique bioclimatique d'Olgay, le diagramme psychrométrique de Szokolay/Givoni et le tableau de Mahoney. La carte bioclimatique d'Olgay est basée sur les facteurs climatiques extérieurs comme l'illustre la figure 1-7.

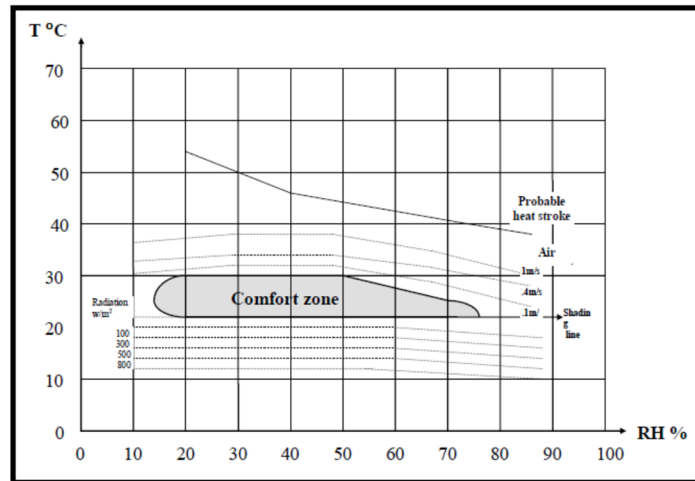


Figure 1-7: Diagramme bioclimatique d'Olgay.

Tirée de Olgyay et Olgyay (1963a)

Les données mensuelles de l'humidité relative et de la température minimale et maximale sont reportées dans le tableau pour chaque mois. Si la ligne tracée se trouve dans la zone de confort, les conditions sont confortables dans l'ombre et dans l'air tranquille. Si la ligne tombe partiellement ou totalement en dehors de la zone de confort, des mesures correctives sont nécessaires telles que l'utilisation de rayonnement solaire, de l'air ou du refroidissement par évaporation. Szokolay/Givoni utilisent le diagramme psychrométrique pour l'analyse bioclimatique. Un diagramme psychrométrique est le graphe des paramètres thermodynamiques de l'air humide à une pression constante. Le graphique de Szokolay/Givoni prédit les conditions de confort dans la construction en fonction du facteur climatique extérieur.

Comme dans le graphique d'Olgyay, la combinaison de la température mensuelle et de l'humidité relative indique la stratégie de conception passive recommandée pour chaque mois. Le diagramme contient la zone de confort, marquée par une ligne pleine et plusieurs zones pour les stratégies de conception passive, nommément chauffage solaire passif, humidification, refroidissement par évaporation, ventilation naturelle et masse thermique élevée.

La méthode de Table de Mahoney est un ensemble de tableaux de référence qui utilisent des données climatiques mensuelles sur la température, l'humidité relative et les précipitations pour calculer les indicateurs de la chaleur et du froid ainsi que des conditions humides et arides de chaque mois. La combinaison de ces indicateurs se traduit par une recommandation de conception simple, par ex. réduire l'exposition au soleil, agencement des espaces....

Bien que ces diagrammes bioclimatiques et indices thermiques s'appuient sur des bases de données et des structures de calcul, ils ne sont pas utilisés comme des instruments de mesure, car leur degré de mesure n'est pas détaillé afin de réaliser des conceptions énergétiquement performantes (M'Sellem & Alkama, 2009).

De même, ces derniers diagrammes bioclimatiques et indices thermiques ne sont pas exploités par les architectes et designers dans la réalisation de leur conception architecturale, par manque d'outils complémentaires, qui tient compte de performance énergétique, d'aide à la conception, la façon de concevoir: un cadre procédural destiné aux architectes pour concrétiser architecturalement les stratégies et les principes générés par ces derniers outils (Kemajou & Mba, 2011).

Situation confirmée par (Susanne, Werner, & Johannes, 2014). Une bonne conception des bâtiments énergétiquement efficaces en zones aride nécessite des outils d'aide à la conception avec pour objectif de converger vers un optimum global. En d'autres termes, ces diagrammes bioclimatiques et indices thermiques permettent d'évaluer le confort thermique à une échelle globale, de synthétiser l'information pour donner des orientations générales, dans les phases initiales du processus de conception. Néanmoins, ceci reste encore insuffisant, car les solutions générées par l'analyse bioclimatique sont souvent sommaires et permettent d'identifier les stratégies pertinentes sans toutefois quantifier leurs impacts. Dans cette mesure, le rôle des outils d'aide à la conception pourrait être clairement justifié, afin d'offrir des choix judicieux et des solutions adéquates relatives à l'efficacité énergétique et au confort thermique du bâtiment.

Dans cette perspective, Hester, Li, Schramski, et Crittenden (2012) ont proposé une analyse de différents scénarios, à l'aide de l'outil eQuest pour évaluer les impacts d'intégration de plusieurs stratégies, telles que le contrôle de l'éclairage, l'augmentation de la fenestration et l'utilisation de panneaux isolants, pour un climat semi-aride. Leurs résultats ont permis d'identifier la combinaison de stratégies minimisant la consommation énergétique sans toutefois proposer une méthodologie d'intégration de ces stratégies dans le processus global de conception. Gou, Li, Zhao, Nik, et Scartezzini (2015) ont également utilisé des données mesurées pour valider les résultats de modélisation d'une maison traditionnelle en Chine, afin d'évaluer par la suite différents scénarios d'intégration des éléments vernaculaires sans toutefois identifier les éléments ayant le plus d'impact sur le maintien des conditions intérieures et de la consommation énergétique.

Parallèlement, Saljoughinejad et Sharifabad (2015) ont classifié un ensemble des stratégies climatiques utilisées dans les résidences vernaculaires en zone chaude et aride. Toutefois, l'étude a révélé l'existence de stratégies prioritaires, considérées dans la modélisation de la conception des plans à certains niveaux qui ne peuvent pas être classifiées dans d'autres niveaux. De même, l'utilisation réelle de ces stratégies climatiques vernaculaires est en fonction de plusieurs paramètres qui sont eux-mêmes en étroite relation les uns avec les autres et ne peuvent pas aussi facilement se séparer en niveaux différents et dépendent des aspects: techniques, financiers, culturels et des considérations psychologiques des usagers. De plus, les connaissances de base, associées à une bonne maîtrise des outils d'analyse et d'évaluation ne sont pas suffisantes sans le savoir-faire. De ce fait, les auteurs ont proposé un axe pour les futures recherches qui pourra impliquer l'analyse de la corrélation entre ces différentes stratégies vernaculaires et leurs influences sur consommation d'énergie et le confort de l'utilisateur.

1.8 Résumé des articles

Le premier article, introduit dans le deuxième chapitre, présente une méthodologie de faisabilité d'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat en zone aride. Cet article expose en premier lieux les stratégies et dispositifs les plus dominants de l'habitat vernaculaires dont les objectifs principaux sont les suivants:

- Diagnostiquer l'environnement thermique intérieure de cet habitat vernaculaire en zone aride et leurs techniques constructives passives;
- Analyser l'application de ces techniques vernaculaires passives dans la conception de l'habitat contemporain pour réduire des besoins énergétiques et assurer le confort de l'occupant.

L'analyse bioclimatique de la ville, objet de l'étude, est réalisée comme première étape ce qui a permis d'identifier l'ensemble de ces dispositifs et stratégies applicables dans la conception de l'habitat, avec tous ses aspects notamment l'isolation thermique, la masse thermique, la pénétration solaire, l'infiltration d'air, la ventilation naturelle, ainsi que les éléments structuraux de l'enveloppe. Les différentes configurations de dispositifs et connexions de stratégies ont été analysées pour les mettre en valeur afin de les réinterpréter dans le développement de processus de conception.

La manière d'intégrer ces dispositifs et stratégies dans la conception du bâtiment et la façon dont ils sont liés a été étudiée et analysée dans son ensemble. De ce qui précède, des processus ont été développés permettant, au concepteur d'aborder lors de la phase d'esquisse (intégration des dispositifs, évaluation de la composante énergétique et choix) la complexité de comportement dynamique du confort thermique de l'habitat. Ces derniers dispositifs et stratégies découlent essentiellement du niveau de la conception. Cela, comporte comme avantage de prendre en compte l'interaction thermique entre le composant du bâtiment et le bâtiment afin, de pouvoir optimiser cette intégration des dispositifs vernaculaires dans l'enveloppe de celle-ci. Pour ce faire, une mise en place de processus global dans la conception de l'habitat a été développée dans la dernière section du présent article.

L'article 2, introduit dans le chapitre trois, décrit le processus conceptuel relatif au premier cas de figure: cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs dans la conception de l'habitat. Cet article englobe une analyse bioclimatique de la ville de Biskra, objet d'étude comme première partie et la manière d'intégrer et d'optimiser les dispositifs et stratégies vernaculaires, issues des résultats de l'analyse bioclimatique réalisée, dans la conception du bâtiment en prenant en compte les aspects énergétiques et le confort de l'occupant.

En effet, le climat était un facteur extrêmement influent dans la conception de bâtiment (P. O. Fanger, 1970). Il a été constaté que le tissu de ces unités d'habitats se caractérise par une grande compacité, horizontale et verticale qui expose une surface minimale au soleil d'été et aux vents froids d'hiver, ces dernières configurations répondent à trois contraintes majeures de ce type de climat: rayonnements solaires direct, diffus et contrôle de la qualité de l'air. À ceci, s'ajoutent les balcons, les portes à faux, les passages couverts ou les arcades pour créer des ombres portées sur les habitations.

Toutes ces stratégies et dispositifs intégrés ont contribué à la création d'un environnement confortable à l'intérieur de cet habitat. Il convient de noter que la performance énergétique de ces unités d'habitats est acceptable sous leurs conditions climatiques rigoureuses, ces unités requérant peu de climatisation, comparativement à la plupart des autres projets de logements publics construits dans la même ville. Cette réalité nous a incitées à réfléchir à la conception de ce dernier bâtiment en relation avec la consommation d'énergie et le confort de l'occupant, dans le but d'adopter des solutions architecturales vernaculaires partielles ou globales.

En étudiant les techniques passives de la mezzanine et de la voûte. Différentes configurations ont été analysées pour évaluer l'efficacité de ces techniques passives et leurs combinaisons. L'intégration d'autres dispositifs au dispositif intégré initialement tel que la voûte a permis à une collection de dispositifs (mezzanine et voûte) de se constituer comme groupe et qui constitue dont le fait que le comportement de chaque dispositif devient un stimulus pour un

autre dispositif comme troisième partie. Un aspect énergétique très amélioré par rapport au bâtiment standard soit sur le plan de besoin en refroidissement, soit sur le plan de besoin en chauffage.

L'article 3, est présenté dans le chapitre quatre, décrit le processus conceptuel relatif au deuxième cas de figure: cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs dans la conception de l'habitat. Cet article aborde la façon d'intégrer les stratégies et dispositifs vernaculaires, issus d'une analyse bioclimatique de la ville de Biskra, objet de l'étude, d'une manière plus appropriée. Cela permet au concepteur de créer, d'évoluer et de développer progressif la conception de cet habitat, en tant que stratégie d'économie d'énergie intégrant des indicateurs de performances énergétiques et de confort de l'utilisateur, en vue d'optimiser à terme la morphogenèse des bâtiments résidentiels, basé sur la structure morphologique du bâtiment proposé.

Une autre typologie de l'habitat a fait l'objet de la deuxième étude de cas, des immeubles résidentiels, la plus répandue sur le territoire de la ville de Biskra, réalisée durant les années 1980, dans le cadre des programmes de l'état Algérien, qui présente des orientations arbitraires, sans prendre en considération ni les quantités d'énergie à consommer ni le confort thermique à l'intérieur de cet habitat collectif, sans oublier l'usage de matériaux non adaptés aux exigences climatiques, tout cela augmente les déperditions dont le besoin en climatisation et en chauffage sera plus important. Ces immeubles sont réalisés dans l'ignorance des connaissances liées au climat, au confort et au comportement thermique des matériaux de construction. À titre d'information, le même type de logements avec les mêmes matériaux de construction réalisés au Nord, est également construit au Sud de l'Algérie (Berghout, 2012).

Les performances thermiques des techniques passives, intégrées le plus possible en amont d'une conception d'un îlot d'habitation dans la ville de Biskra, Algérie sont évaluées par simulation dynamique en utilisant le logiciel EnergyPlus. Les techniques passives étudiées sont: la morphogenèse et la cour dans l'habitat. L'évaluation de l'impact de chaque

intégration sur les besoins en refroidissement et en chauffage, permet d'identifier le degré de liaison entre les différentes configurations, dont la multiplicité et l'adéquation finissent par produire un confort relatif pendant les deux périodes été comme hiver et de réduire voire d'annuler la période de climatisation et de chauffage dans cette ville objet de l'étude. Ce qui a conduit à des améliorations des consommations soit sur le plan de besoin en refroidissement, soit sur le plan de besoin en chauffage.

La comparaison des résultats des parties de cette thèse illustre une certaine similarité entre eux ainsi qu'avec les résultats comparables de bâtiments standards en matière de réduction des charges annuelles soit en climatisation soit en chauffage. Il est à noter, cependant, que certains résultats présentés ici, en particulier ceux liés à l'impact de l'intégration de certains dispositifs sur la consommation énergétique, dont l'objectif d'assurer le confort de l'utilisateur, ne peuvent pas être comparés puisqu'aucune information similaire n'est disponible dans la littérature. Le Tableau 1-1 présente une comparaison des résultats de cette étude entre eux et aux bâtiments standard 1 et 2.

Table 1-1: Comparaison des résultats des charges annuelles de climatisation/chauffage et le taux de réduction en ratio énergétique par rapport aux bâtiments standards pour les bâtiments correspond aux différentes configurations

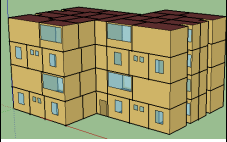

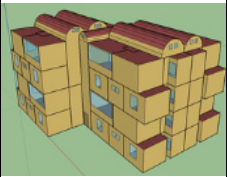

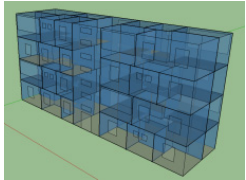
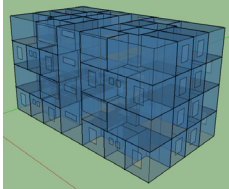
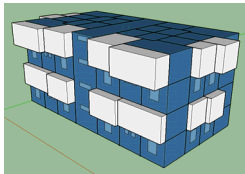
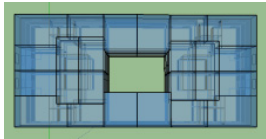
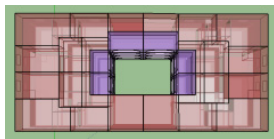
Nom du dispositif	Représentation sur le modèle a,b	Refroidissement		Chauffage		% de réduction du ratio énergétique par rapport au bâtiment STANDARD	Observations
		kWh/an	kW (peak)	kWh/an	kW (peak)		
Bâtiment standard type 1		391 591.19	40 251.95	1 818.62	415.94	Bâtiment Standard	/
Mezzanine		391 591.19	32 39.65	1 691.6	380.11	20.04	L'action d'intégration en combinaison de mezzanine avec l'ambiance thermique à l'intérieure du bâtiment a permis de réaliser un changement, pris séparément pour solutionner la problématique énergétique.
Voûte		361 491.09	37 225.40	1 692.95	386.47	10.46	La notion d'opportunité de la voûte a été introduite. Elle est déterminée à partir de l'analyse bioclimatique de la ville Biskra. L'intégration de cette voûte a permis d'améliorer en plus la performance énergétique de ce bâtiment étudié par rapport au bâtiment standard soit sur le plan de besoin en refroidissement, soit sur le plan de besoin en chauffage.
Combinaison Mezzanine / Voûte		309 943.15	32 426.52	1 560.06	353.30	20.84	L'action d'associer la mezzanine à la voûte a permis de déterminer l'effet de cette combinaison de mezzanine/voûte. Cette dernière association a diminué les besoins de chauffage et de climatisation et a amélioré le confort thermique.

Table 1-1: (suite)

Nom du dispositif	Représentation sur le modèle ^{a,b}	Refroidissement		Chauffage		% de réduction du ratio énergétique par rapport au bâtiment STANDARD	Observations
		kWh/an	kW (peak)	kWh/an	KW (peak)		
Bâtiment standard type 2		166 557.96	17 120.73	705.34	161.38	Bâtiment Standard	/
Agencement et dimensionnement des bâtiments		347 058.21	35 390.01	1 524.59	320.53	5.67	L'agencement et le dimensionnement du bâtiment a permis d'améliorer les résultats des conditions thermiques du bâtiment standard.
Kbou		275 476.92	30 035.36	1 441.49	331.05	25.11	La valorisation de la conception du bâtiment par l'ajout de la stratégie du contrôle solaire au stratégie de la compacité du bâtiment a permis d'obtenir comme résultat des conditions thermiques plus satisfaisantes (gratification).
Cour		356 078.02	36 120.25	1 523.31	349.23	11.40	La valorisation de la conception du bâtiment par l'ajout du patio à la stratégie de la compacité du bâtiment a permis de répondre aux contraintes des deux périodes été comme hiver.
Galleries		339 583.77	34 973.88	1 503.32	343.20	15.49	L'association de galerie au patio a permis d'engendrer un résultat qui s'est cumulé en une satisfaction de besoins en climatisation et en chauffage, cette d'association est de type des stratégies de, captation de l'énergie solaire, ventilation naturelle et le contrôle de rayonnement solaire.

CHAPITRE 2

ARTICLE 1: THE PASSIVE AMBIENT COMFORT AND DESIGN INTEGRATION FEASIBILITY OF VERNACULAR DEVICES IN ARID HOUSING

Belkacem Berghout *and Daniel Forgues
Department of Construction Engineering,
École de Technologie Supérieure, Montréal (QC),
University of Quebec, H3C 1K3, Canada

This chapter has been accepted for publication on May 31, 2019 in
International Journal of Global Environmental Issues

Abstract

The excessive energy consumption in arid climates raises the question of utilising climate's intrinsic adaptive methods, which could significantly contribute to energy saving strategies. This article introduces the feasibility of incorporating vernacular device strategies to reduce energy consumption and thereby to more realistically assess the opportunities for adapting these strategies in arid areas. The objective is to develop an overall process focused on the integration of vernacular devices and to realise an effective return for both users and developers by improving energy efficiency. A complexity analysis of the integration of the energetic aspects in several vernacular cases was performed in order to propose design processes that optimise energy performance while ensuring occupants' comfort, based on the proposed building structure morphology. The results concretely illustrate both the interrelation between energy consumption and the various conception choices, and how vernacular devices can condition local energy practices.

Keywords: Passive strategies; Vernacular devices; Design; Overall process; Building professionals; Integration of vernacular devices; Housing construction; Comfort; Energy performance; Arid area.

2.1 Introduction

A significant share of the global energy consumption still relies on fossil fuels (Peuportier, 2008). The demand for energy from fossil fuels is expected to increase until 2050 according to various hypotheses (Nomadéis, 2012). Managing this increasing energy consumption should always take into account the twin goals of capping and then reducing the pollution generated by energy production by implementing new and renewable, less-polluting energy sources (Michel, 2006).

Energy demand management for single-building functioning gives positive results, but it is not enough to offset the predicted demand. Due to their complexity, building construction and management require approaches that are more and more global and transverse. These approaches should not only account for a building's exploitation, but also its design and its construction. For instance, the choice of the shape and orientation of a building or performance envelope may allow its energy consumption to be reduced by up to 40% (Cofaigh, 1999; Baker, 2000; Lechner, 2009). Unfortunately, there is a lack of adequate data for arid environments, as most studies have focused on countries with mild climate (Belakehal and Tabet Aoul, 2003). This lack of available data will become even more acute as climate change creates more arid areas.

Significantly, in arid areas, buildings are responsible for more than 70% of the electricity consumption in summer months, compared to Europe where this sector consumes only 42%. With the ongoing demographical growth and accelerated urbanisation of these countries, development of this arid zone has been dominated by the adaptation of advanced architectural solutions from the northern countries, local climatic conditions and local traditional techniques are being overlooked (Bodach et al., 2014).

These latest adapted architectural solutions pose multiple problems, requiring the installation of electric air conditioning systems to ensure comfort in summer, damaging the local environmental quality and compromising the local electrical grid (Fezzioui et al., 2008).

In fact, in the traditional architectural heritage of arid areas, several vernacular morphologies respond to the environmental and other local constraints, creating “optimal” morphologies with regard to the local context, to the climate and to the available resources. More specifically, different climates and geographical areas have influenced different architectural responses (Lechner, 2009). This traditional heritage offers a considerable stockpile of ingenious devices that indicate the considerable advantages in material and in energy savings that can be achieved by these techniques (Frey, 2010).

Historically, vernacular building performance has demonstrated the advantages of designing buildings that work with the bio-climatic and make use of passive devices (Rapoport, 1969; Morello, 2008). These vernacular systems naturally present the potential to consume very little energy; in fact, they offer the opportunity to avoid the need for active systems, while minimising the use of electricity (Saljoughinejad and Rashidi Sharifabad, 2015).

It is obvious that designing buildings for arid zones (which are often located in less-developed countries) must be done differently from those situated in northern areas with a cold or temperate climate, not least because the technology utilised in developed countries is costly.

Another aspect of this technology is that it (generally) has a limited lifetime (about 30 years) and its production and recycling are very polluting (Denis, 2012). These techniques are thus not very appropriate for use in the global south, which is reflected by the difficulty to incorporate coherence between architectural projects and energy performance objectives.

Building design should fully utilize the different available concepts, matching them to the present, local energy needs, without compromising the ability of future generations to satisfy their own development. Unfortunately, the development of focused conception processes incorporating the global integration of vernacular devices has not been studied.

This article aims to develop design assistance processes for designers and building professionals in arid areas this is to ensure the proper integration of vernacular devices in a more appropriate manner. This vernacular device integration is expressed not only at level of the device itself, but also in its relations with the adjacent spaces to which it is linked. These interrelations and multiple levels of expression allow for both the development and the realisation of this approach in building construction and in reducing the energy needs of the built environment.

This article is structured in four main sections. The first section discusses some of the most dominant design strategies that address arid and dry climate constraints as a first step and how to integrate and optimize these vernacular devices and strategies derived from the results of passive vernacular analysis, in the contemporary building design taking into account the energy aspects and comfort of the occupant, as a second part. The second section describes the most dominant vernacular design analysis tools, with the aim of identifying the key parameters that must be considered in the development of the conceptual processes of habitat. The third section discusses the results and discussions. Finally, the fourth section will consist of a conclusion that will illustrate and synthesize the results obtained by providing perspectives for future research.

2.2 Vernacular design measures in arid areas

This section outlines the dominant strategies and devices for vernacular habitat design with the following main objectives which include:

- To investigate indoor thermal environment of the above-mentioned vernacular habitats and their passive construction devices within arid areas;
- To analyze the potential applications of these passive vernacular devices within contemporary habitats design so as to reduce energy requirements.

2.2.1 Vernacular design and climate comfort

In arid environments, the sun is very high, and so the ground and roofs, being receptive surfaces, are exposed to the most solar radiation. This radiation is emitted to these spaces and to the materials that compose them in the form of short wavelengths. These materials absorb the short wavelengths and then reflect or radiate that energy out in the form of longwave radiation.

Before the availability of heating and air conditioning systems, builders had to find intuitive responses to these extreme climatic conditions, adapting traditional systems to limit the thermal losses (or gains) and to ensure occupants' comfort (Campredon, Croci, & Verga, 2002). At the urban scale, tightened building patterns increase shadows on buildings and on common spaces. Thick building walls (advantageous because of their inertia and the phase shift they induce) and narrow apertures (to limit solar input and heat transfer) have both been incorporated in these climates. (Kari et al., 2008) stipulate that “regional traditions in fact gave birth to strategies and to tested architectural facilities perfectly adapted to climatic conditions – sun exposure, temperature, air humidity, etc.”

Four vernacular strategies are identified and listed along with their corresponding devices. This analysis focuses on strategies and devices relating to the building envelope (building compactness, patio's house, exterior walls, etc.) to most effectively meet the stated objectives, but evaluating the effects of interior design (e.g., porous walls) and added facilities (the use of wind towers) should also be analysed.

2.2.1.1 Building compactness

The first adaptation to an arid climate is seen in the building density and in the external contours of buildings which help to mitigate the effects of extreme temperatures (Bardou and Arzoumanian, 1978). High urban density is preferred because it ensures that buildings are not continually exposed to intense summer solar radiation or to the cold winds of winter, as illustrated in (Figure 2-1). Long and winding alleys create shade for buildings and public

spaces, virtually all day long. As cold air layers gather during the night in these alleys they become denser and move towards the ground. This cooled air then stays close to the ground throughout the morning until the hot wind blows it away in the afternoon (Fardeheb, 1989). The cycle is repeated each day.



Figure 2-1: Urban density examples, Timimoun, Algeria
Ben Cherif, (2013)

Based on the study of (Bencherif, 2013) which describes the advantages of urban density in arid climates, and expose a minimal surface to summer sun and cold winds of winter, these former configurations address the three major issues of this climate type: direct solar radiation, diffused one, and air quality (Bardou and Arzoumanian, 1978). In addition to that, balconies, overhangs, covered passages or arcades create shade for buildings and their occupants, they also have an important impact on outdoor spaces, both public and private. The constant feature was the presence of enclosed exterior space (Izard, 1976).

2.2.1.2 Habitat with patio

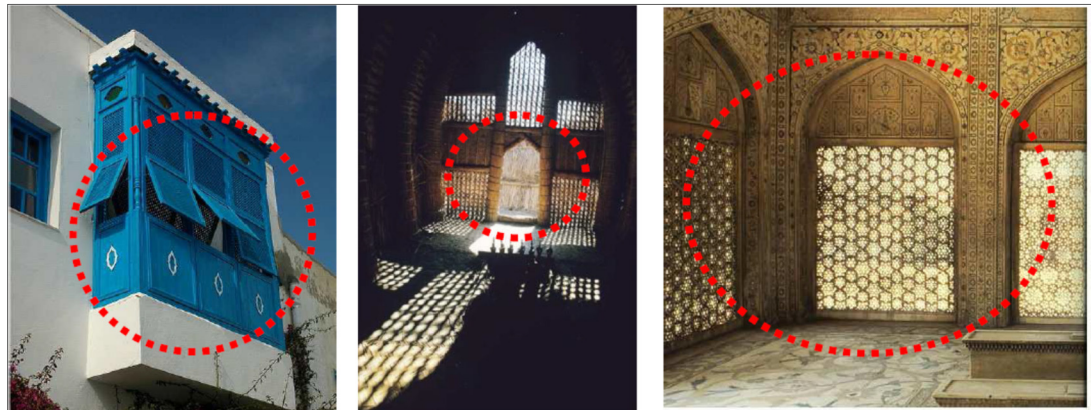
A perfect adaptation to arid climate is the integration of “patios”. With its different configurations, a patio constitutes an ideal system against a hot and arid environment. As a radiation structure, a patio allows cooling by conduction and by nocturnal radiation by creating an air current with its apertures (Wright, 1979).

Thermal exchanges in these spaces occur in the form of conduction, convection, radiation and evaporation. According to the season, each of these basic principles can be utilised by a

tested strategy appropriate to a given building and its orientation. Some principles, for example, radiation cooling (towards the sky during the night) or evaporation, are highly effective. The interaction of all of these principles at various levels according to the project greatly reduces periods of overheating during the summer. Only a short while ago, these different principles were traditionally used in such a hybrid manner, as only the combination of several cooling systems can achieve a sufficient effect (Ben Cherif and Chaouche, 2013).

2.2.1.3 Porous walls

Perforated walls in arid zones filter light while allowing air to pass. The air movement thus provoked in interior spaces refreshes during heat wave periods and purifies an atmosphere charged with moisture. Mashrabiya are one of the traditional and simple architectural devices designed to facilitate natural ventilation on external facades. External hot air capture can be helpful in summer if it is humidified at its passage (Givoni, 1978). Some examples are shown in (Figure 2-2) (Etzion, 1995).



a: Mashrabiya, Tunis;

b: Porous walls, Baghdad.

Figure 2-2: Different configurations of porous external walls
Etzion, (1995)

Warm air is replaced by cooler air, creating an air current even when there is no outside wind (Ben Cherif and Chaouche, 2013). The incoming air can be made to flow over with moist surfaces, provoking evaporation to increase the cooling effect.

2.2.1.4 Interior walls

Nighttime temperatures are always cooler than daytime temperatures, and in an arid climate, this difference is often quite significant. In a vernacular habitat, this cool night air is stored in a building's mass to be exploited the next day by adjacent spaces (Fardeheb, 1989). This cool night air descends slowly, and penetrates the patio, spreading all over spaces which surround it. These vernacular spaces absorb the cool night air and keep it till midday. At midday, the stocked cool night air moves and creates air stream producing comfort. The cycle is repeated each day.

The daytime hot air goes into the habitat through the patio it is refreshed by evaporation (plants, fountains or other moistening devices), and then this cooler air pushes the warm air accumulated in the living spaces and evacuates it through small apertures, forming an air circuit in conjunction with doors and windows (Fardeheb, 1989). Windows facing a patio are wide; high windows allow warm air evacuation, while lower-level windows go down to the ground. Likewise, shading devices such as shelters or canopies are another sun protection strategy for wide apertures (Ghobadian, 2009). Likewise, the shape and the size of these apertures are designed to let more light and air into internal spaces (Saljoughinejad and Sharifabad, 2015).

2.2.1.5 Wind towers

The wind tower is another system designed to take advantage of cooler air. Broadly deployed in arid areas, they are oriented towards the dominant wind direction and ascend significantly above the buildings, in order to capture fresh, moving air, avoid the obstructions of adjacent buildings, and to improve the indoor air quality (Bahadori, 1978). The night wind forces air to circulate in the opposite direction so that the building is cooled by fresh air introduced by the patio. During the day, any captured wind increases the air circulation rate into the building.

In the absence of wind, the wind tower still cools the building because of chimney effect directing the warm air outside (Ahmadkhani, 2011), as illustrated in (Figure 2-3). Water is often incorporated into vernacular devices (both covered and uncovered spaces) to humidify the air, allowing evaporation and more cooling of air currents from wind towers or other devices (Alkhalidi, 2013). Wind towers are particularly effective at creating air currents, evacuating warm air and drawing in fresh air from a water plan, from a shaded, plant-enhanced patio, from a garden, a courtyard with a fountain, or even from underground (Saljoughinejad and Sharifabad, 2015).

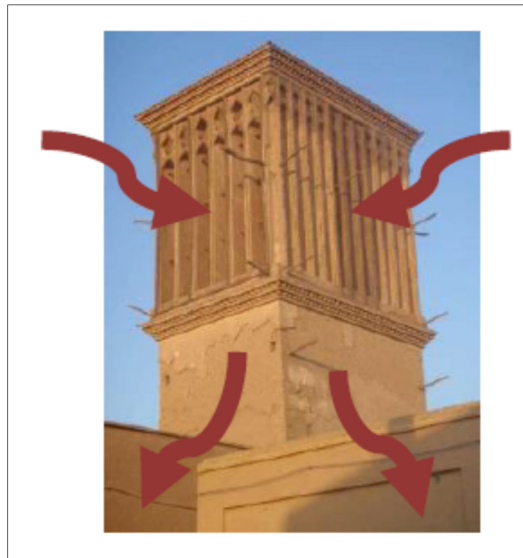


Figure 2-3: Natural ventilation devices, wind towers in Yazd, Iran. Denis, (2012)

Similar devices mitigate high temperatures by decreasing the surfaces exposed to the sun, as energy absorbed by horizontal or vertical walls will be transformed into heat, warming the whole structure. Integrating a cupola roof or adding a dome creates a space in which air can be circulated, recovering heat by convection and also allowing passive heating during winter (Frey, 2010). Furthermore, these devices can absorb up to one-third of the radiation received by the surface unit, so that the building warms up less rapidly and cools off more quickly (Fezzioui et al., 2012).

2.2.2 Abstract and perspectives

While modern design practices have not yet incorporated these methods, architectural modelling of vernacular type design strategies may be supported by actions on the ground or by the use of simulation tools. (Ratti et al., 2003) have analysed and compared the shapes of traditional buildings to evaluate the impact of traditional courtyards on building lighting and cooling needs in warm and arid areas. Their results demonstrate the effectiveness of traditional courtyards in terms of maintaining interior comfort and decreasing energy consumption. Likewise, N. Fezzioui, M. Khoukhi, Z. Dahou, K. Aït-Mokhtar, et S. Larbi (2009) used TRNSYS to compare the thermal behaviour of a traditional house and that of a typical modern house in an arid climate. Their results demonstrate that a combination of passive strategies in the traditional house maintained the comfort level for occupants in the summer. One of their main conclusions refers to optimal orientation to enhance comfort in summer months; however, other than envelope characteristics, no other vernacular device is discussed.

However, their research did cover the exploitation of these vernacular construction techniques and their adaptations in actual habitat design modelling. Hester et al. (2012) provide an analysis of different scenarios, having utilised eQuest to evaluate the integration impacts of several strategies in a semi-arid climate, such as lighting modifications and fenestration modifications and the use of isolating panels. Their results made it possible to identify the combination of strategies that minimised energy consumption but they did not propose an integration methodology of these strategies in the design process. Gou et al. (2015) used measured data to validate the modeling results of a traditional house in China to evaluate different integration scenarios of vernacular features, without however identifying the features that have more impact on internal living conditions or on energy consumption.

Along the same perspective, Saljoughinejad and Sharifabad, (2015) have classified almost all of the vernacular strategies deployed in residences in warm, arid areas, based on spatial features arranged by air temperature difference. However, this study revealed the existence of

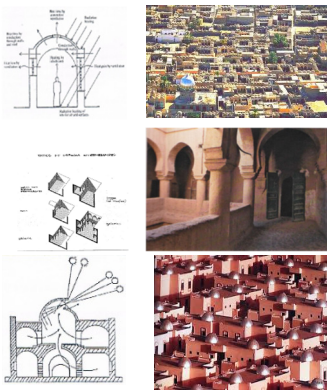

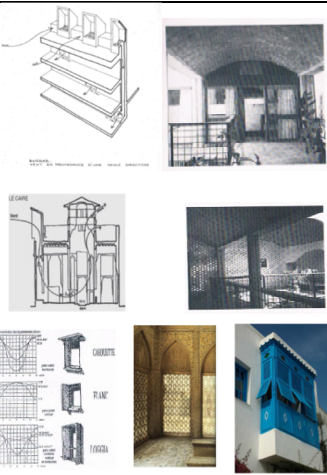
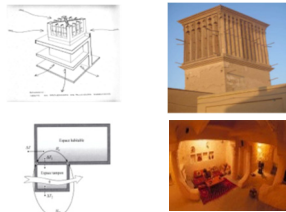
certain overriding strategies that have been considered in design modeling but which cannot be classified into one of the three cleared levels: ceiling and roof level; level between ceiling and soil, and the soil and sub-soil level. In addition, the actual use of these vernacular climatic strategies is carried out according to several parameters which are themselves in close interrelation with each other and cannot be easily separated into different levels. These parameters are dependent upon a number of aspects: techniques and technology, users' psychological and cultural considerations, specific environmental conditions and financial considerations. Saljoughinejad and Sharifabad, (2015) propose an axis for future research which may involve correlation analysis of these different vernacular strategies and their influence on internal ventilation and thus on residential internal temperatures.

The above paragraphs explain the context in which our observations, experiences and research studies have been clearly defined. The space and time in which these correlations and these devices' interactions occur must be considered in habitat design modelling. Design process development for building professionals (architects, project managers, and engineering offices) should be focused on vernacular device integration with the aim of converging towards a global optimum for the implementation of efficient, sustainable habitat.

2.2.3 Analyzing climate comfort in vernacular houses design

The aim of this study is to exploit the most dominant design features and strategies completely in the study area in a model so that they can be seen next to each other in a more appropriate way. A bioclimatic analysis of the city under study will be carried out as a first step, which will make it possible to identify all of these devices and strategies applicable in the design of the habitat, with all its aspects, in particular the thermal insulation, thermal mass, solar penetration, air infiltration, natural ventilation, as well as the structural elements of the building envelope, these latter devices and strategies are largely presented in Table 2-1.

Table 2-1: Inventory of arid climate vernacular devices and strategies for building envelopes

Adapted vernacular strategies	Adapted vernacular devices	Actions	Details and diagrams
Energy capture	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Small windows; ✓ Roof windows; ✓ ventilation ducts; ✓ Light well; ✓ Open patio; ✓ Semi-open patio; ✓ Covered patio; ✓ Single courtyard; ✓ Double courtyard; ✓ Mezzanine; ✓ Domes and vaults; ✓ Roof with loggia or balcony; ✓ Double roof with air layer; and ✓ Sunshade roof overhang. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilitate thermo-circulation; ➤ Optimise position, shape and size according to space and orientation; ➤ Ensure relations and apertures between rooms; and ➤ Create thermal draw. 	
Energy storage	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Appropriate thermo-physical materials; ✓ Small windows; ✓ Building ass; ✓ Phase-change material; ✓ Cellars, ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Increase the walls' heat inertia; ➤ Incorporate Utilize lighter interzone partition walls; ➤ Take advantage of the ground's heat inertia; ➤ Augment and benefit from higher roof inertia. 	
Energy resource control	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Small windows; ✓ Shading devices such as : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Balconies; ▪ Mashrabiya; ▪ Awnings; ▪ Horizontal slat blinds located outside... ✓ Vertical sun mitigations on east and west faces: <ul style="list-style-type: none"> ▪ shutters (specific hinge positions for simple shutters on the south; ▪ Vertical blinds located outside... ✓ Shade enhancement (shadows from other buildings) ✓ Integration of buffer areas; ✓ Compact design; ✓ Green roofs ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Decrease surface of direct sun inputs; ➤ Decrease solar input; ➤ Decrease surface-to-volume ratio; ➤ Favour internal apertures; ➤ Avoid heat transfer towards interior by incorporating appropriate material and design: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Wall insulation; ✓ Roof insulation; ✓ Ventilation space under roofs; ✓ Vegetal presence on vertical walls and/or by green roofs (also with gaps for trellis ventilation); ➤ No zenith aperture. 	
Energy distribution	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Light wells; ✓ Wind tower; ✓ Typical tower; ✓ Chimney; ✓ Balconies; ✓ Porches; ✓ Mezzanines; ✓ Design of interior spaces... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Connect roofs to other areas; ➤ Enhance thermo-circulation; ➤ Promote air circulation; ➤ Incorporate direct coupling between captor spaces and other spaces. 	

However, these different configurations of devices and connections of strategies applicable in vernacular habitat design need to be analyzed to highlight them in order to reinterpret them in this development of design processes, thereby maximizing the economy of energy while ensuring the comfort of occupants in arid zones (objective of the research). This distinguished combination corresponds to the two figure cases: the case of integration in correlation of strategies and devices and cases of integration in interaction of strategies and devices:

2.2.3.1 Correlation of strategies and devices

The integration of a patio into a habitat as a device presents numerous climatic, regulating, and social qualities. In cooler weather, a patio allows sunlight to warm a dwelling so that its heat can be stored, thereby raising ambient temperature and lowering the need for heating. In summer months, it moderates the sun's radiation by means of adjustable blinds to ensure cooling and ventilation, reducing or eliminating the need for air conditioning or even the need for electric fans. A combination of these two strategies (sun exposure and filtered sunlight) is illustrated in (Figure 2- 4).

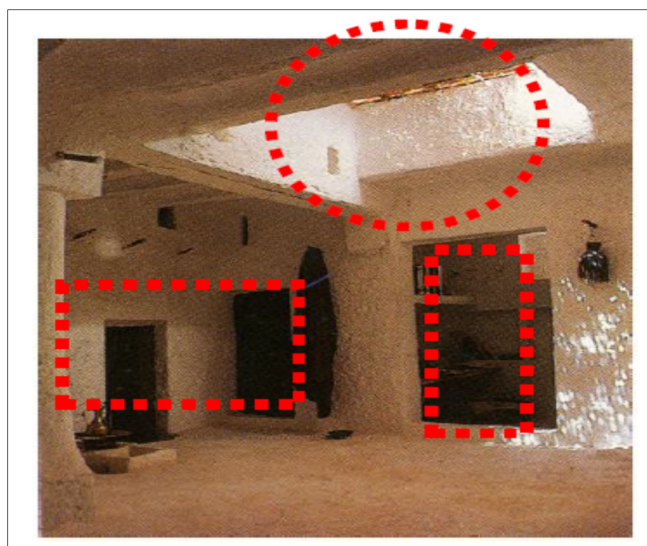


Figure 2-4: Patio incorporating vernacular strategies, Ghardia's houses in Algeria (Koenig)

The integration of this type of patio in habitat design contributes to a self-controlled: ideal defence system against an arid environment. In arid areas, the first prerogatives are to be protected from solar radiations and to obtain the best possible ventilation conditions (Mazria, 2005). Therefore, the use of a patio should be associated with a solar radiation control strategy by integrating it with other devices such as balconies, loggia, iwans, all of which also contribute to reducing high temperatures by decreasing the surface area exposed to the sun. While we may assume that the architectural space used by these both devices (patio and adjunction devices) are the same, being able to maximize the possible synergy among these coupled devices in a single building zone requires a design approach that considers their individual contributions.

In the hot season, this integration of one or more patios with other solar protection strategies in a building's design brings more human interest into the design for example, the creation of buffer areas (such as gallery, loggia, iwan...) between a patio and the main living space moderate the temperature differential between the inside and the fully exterior environment while creating shaded spaces that increase the useable area. The surplus heat can be dissipated thanks to nocturnal ventilation as well as the incorporation of other cooling devices. This augmented ability to dissipate heat and circulate air reduces the use of air conditioning and thus the consumption of electricity. In winter, the implementation of this device combination (patio in conjunction with other envelope devices) also creates a temperature buffer zone, decreasing the need for heating thanks to the thermal energy transfer between the buffer zone and the internal habitat.

It is clear that integrating patios with other devices creates a highly-functional buffer zone that reduces temperature variation and contributes to its stability, thereby increasing comfort and reducing the need for air conditioning and heating.

2.2.3.2 Strategy and device interaction

Mashrabiya are another vernacular device. Located in a building's external walls, their integration augments the effects of other devices, improving comfort in the summer and reducing heating requirements in winter. Mashrabiya are designed to support natural ventilation through external walls while reducing the penetration of direct sunlight, as diffuse light is less damaging to eyes than the sun's direct rays. Warmer air pushes upward and is replaced by cooler air, thereby creating an air current without any need for external wind (or electricity).

The reduced surface openings produced by a Mashrabiya's meshes speeds up the air passing through. The effectiveness of a Mashrabiya as a device can be augmented by creating a buffer zone whose temperature is always ambient. Increasing the buffer zone's temperature in winter is accomplished by keeping the Mashrabiya's openings closed both day and night. Mashrabiya are generally composed of light wood that absorbs a part of the solar radiation they receive and pass a part of that heat to the inside of a building. This design makes use of several strategies approaches: solar energy capture, natural ventilation, natural lighting, and also radiation control; this last strategy not only decreases the heating needs, it also can improve thermal comfort.

As can be seen from the statements above, Mashrabiya device integration enhances human comfort levels during the two extreme periods (summer and winter) and contributes to reducing a building's energy consumption. In addition, Fathy, (1986) in his "Thermodynamics of human comfort in hot climates" demonstrates that solar protection installations increase the number of hours when users are in their comfort range.

The analyses of these two cases show that the implementation of such associations (the correlation and interaction of device strategies) has been well-demonstrated, especially since this implementation would not imply a substantial financial investment. This analysis has made it possible to create a procedure to gather and integrate such vernacular device

strategies into the design of habitat buildings, accounting for energy-consumption aspects and occupant's comfort.

2.2.4 Reassessing the analysis results using developed computer techniques

As explained before, each type of integration is described as a combination of vernacular strategies and devices. Figure 2-5, illustrates the case of the integration in interaction of strategies and devices to the building namely the following different types: External walls types; Interior fittings types; Roof types; the types of wind towers and the case of integration in correlation of strategies and devices to the building namely the different types that promote self-control.

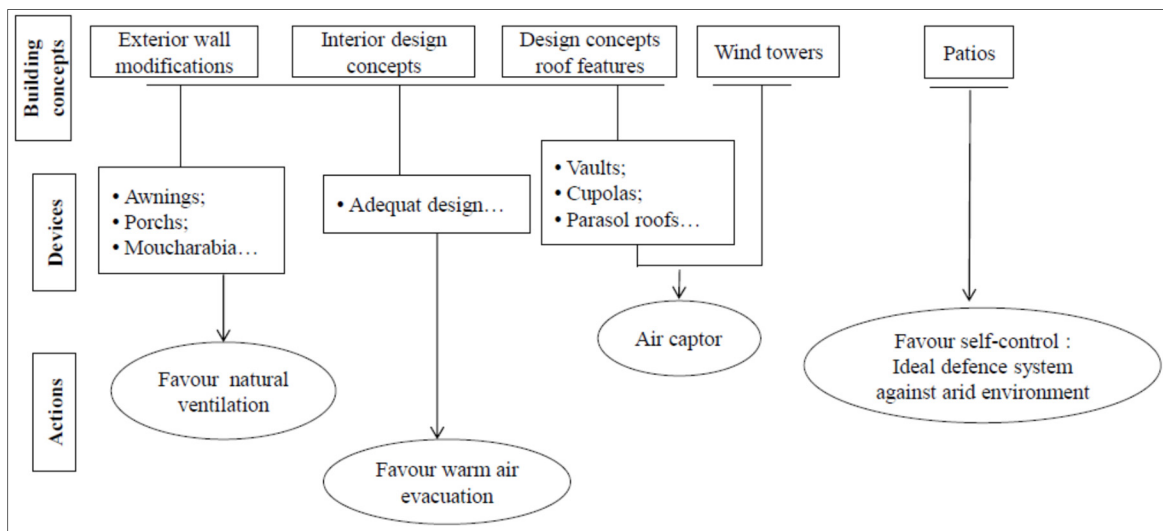


Figure 2-5: Correspondence between devices and their integration

The latter figure 2-5 allows the designer to choose the appropriate devices and strategies and identify the components having an impact on the energy component of the building to ensure the comfort temperature in the design of the latter building. Similarly, the identification of different vernacular devices and strategies allows the designer to determine which components of the building and at which design level they correspond.

These latter devices and strategies essentially derive from the level of the sketching phase (the sketching phase is that of the emergence of ideas, choices and negotiations). This has the advantage of taking into account the thermal interaction between the building component and the building in order to optimize this integration of vernacular devices and strategies in the envelope (component) thereof.

The way in which these latter devices and strategies are linked must be studied and analyzed as a whole. Figure 2-6 allows the designer to address in the sketching phase the complexity of dynamic behavior of the thermal comfort in the home through the mutual interrelationship between the designer and his built environment, especially those that explain the decision-making processes relating to the integration mechanisms of vernacular devices and strategies in habitat design, in order to bring the latter devices and vernacular design strategies into alignment with all systems, technologies and innovative techniques and modes of contemporary architectural design.

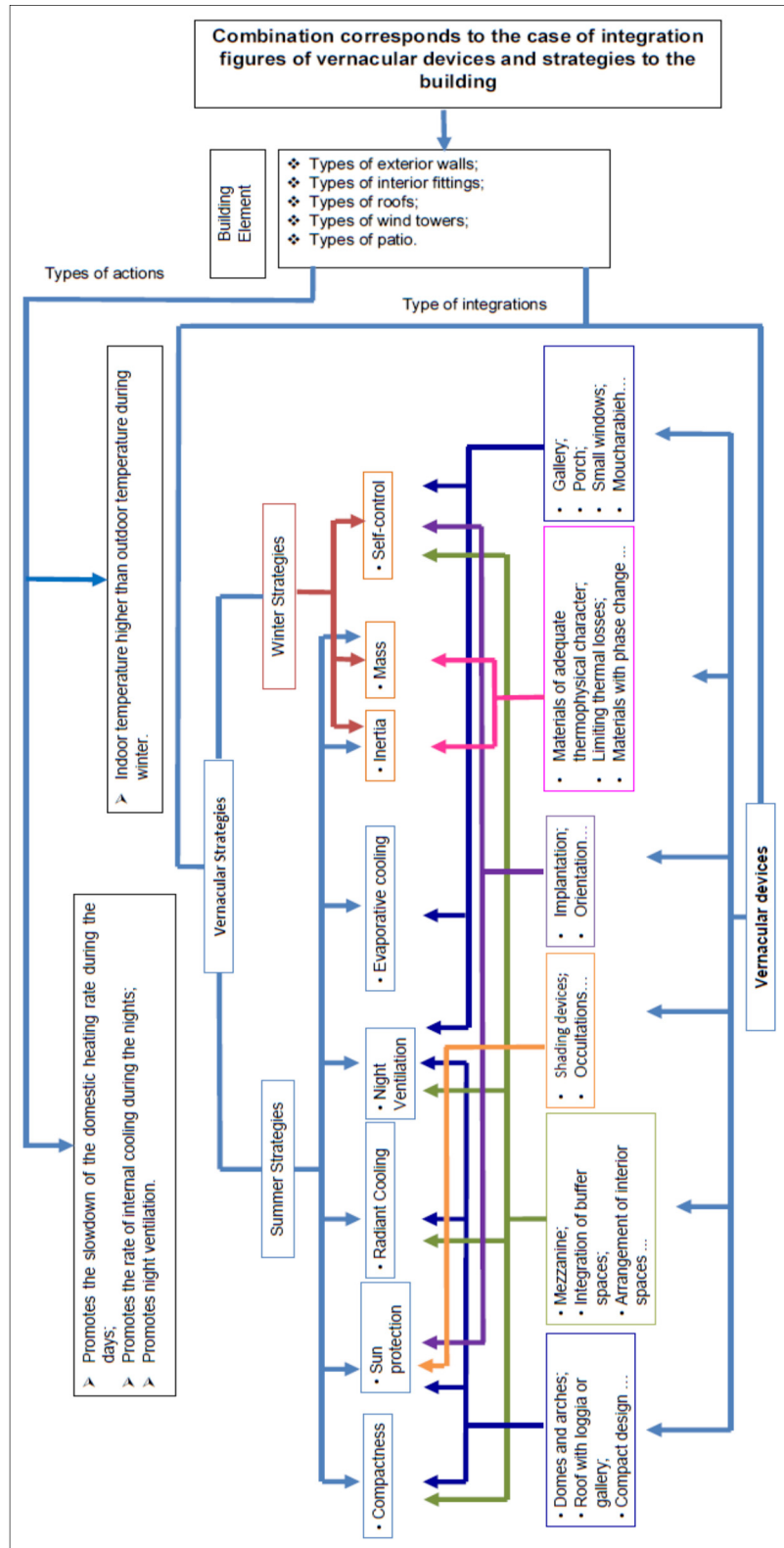


Figure 2-6: Association of devices and vernacular strategies during the author's sketch phase

These integrations under way will have a direct effect on the thermal behavior and the energy performance of the habitat. Indeed, they represent an aid to the important choices made during the sketch phase. The proposed figure 2-6 illustrates the various associations correlation and interaction of strategies and devices) handled by the architect and represents a practical guide to recommendations and assistance in the design of habitat in arid areas. The latter guide is based on the relationship between the extreme climate parameters of arid areas, building elements and the different types of integration of vernacular devices and strategies.

The realization of each conceptual strategy can be achieved by integrating several devices at once. This makes the final choice of integration of vernacular devices more difficult mainly because of the many seemingly contradictory choices (capturing sun light and protecting oneself from the sun). This methodology makes it possible to make a compromise between these choices. To do this, the opposite direction has been proposed, the architect will have to integrate first the vernacular devices, which makes it possible to solve at every devices' integration several strategies at the same time in a synergistic and complementary way.

This, in fact, leads us to design a process essential to the design of buildings centered on the integration of vernacular devices first, from the sketch phase, with the aim of converging towards an overall optimum conceptual strategy while ensuring the comfort of the occupant, allowing us to combine, model, implement and evaluate the impact of the choice of devices and strategies to help building professionals (architects, engineers and consulting firms) improve energy efficiency within the habitat.

2.3 Climate research - responsive design strategies for arid areas

2.3.1 Climate research

Arid areas are highly diverse. Arid climate areas are found in the subtropical regions of Africa, Asia, America and Australia, wherein the aridity is due to the trade winds that develop north and south of the Equator between 15° and 30° latitude. While a hot and arid zone is characterised by excessive heat and insufficient and variable rainfall, are however

climatic constraints and variables, generally due to different temperatures, the timing of rainy seasons and the level and extent of aridity.

The weather station in In-Salah, Algeria (27° 23' N, 02° 46' E, 269, 00 m) records detailed weather data, which is widely characterised by the presence of subtropical anticyclones (Pagney, 1994; Warner, 2004). Annual average temperatures are 25.4°C, while monthly average temperatures range between a low of 13.0°C in January to 36.5°C in July. Typical of an arid desert, the average contrast between day and night is quite high (14.7°C in January, 15.6°C in July).

However, in this region, more than anywhere else on the surface of the Earth, average provisions only a very imperfect picture of the climate, because extremes can vary and they can reach surprising values (Peguy, 1970). Subtropical latitudes have the hottest points on the planet (55°C at Kebili, in the south of Tunisia, on July 7, 1931), while air transparency favours a high rate of nocturnal radiation, sometimes causing temperature decreases of 30°C in four or five hours. On some winter nights, the thermometer falls below the freezing threshold just before dawn, especially at higher altitudes (- 10°C in the Tibesti mountains, - 7°C in Tamanrasset, - 6°C in Bechar and in Beni Abbes). Added to these thermal excesses is a very low relative humidity at the hottest hours, especially in places that are already most marked by their continental character, intense solar radiation and drying winds. Compounding these conditions, rainfalls can be rare and very irregular.

2.3.2 Responsive design strategies

The dominant vernacular design strategies for arid climates are generally identified using three major tools: the Olgyay bioclimatic graph, the Szokolay/Givoni psychrometric diagram and the Mahoney table as follows: Olgyay's bioclimatic chart, Givoni's psychrometric chart and Mahoney Table. Olgyay's bioclimatic chart is based on the outdoor climate factors considering humidity versus temperature. Monthly data of minimum and maximum relative

humidity and temperature are plotted onto the chart for each month. If the plotted line falls within the com-fort zone, conditions are comfortable in the shade and in still air. If the line falls partly or totally outside of the comfort zone, corrective measures are necessary such as the use of solar radiation, air movement or evaporative cooling (Olgyay, 1963).

Givoni uses the psychrometric chart for the bioclimatic analysis. A psychrometric chart is a graph of the thermodynamic parameters of moist air at a constant pressure. Givoni's chart predicts the comfort conditions within the building based on outside climate factor. As in Olgyay's chart the combination of monthly temperature and relative humidity indicates the recommended passive design strategy for each month. The chart contains the comfort zone, marked by a solid line and several zones for passive design strategies, namely passive solar heating, humidification, evaporative cooling, natural ventilation, and high thermal mass (Givoni, 1969). The Mahoney Table methodology is a set of reference tables that use monthly climate data of temperature, relative humidity and precipitation to calculate indicators for heat and cold stress as well as humid and arid conditions for each month. The combination of these indicators results into simple design recommendation, e.g. "reduce sun exposure", "compact building layout" or "medium sized openings" (Koenigsberger, 1974).

In conclusion, the aforementioned bioclimatic analytical tools are not exploitable from the design sketch phase by the building designer mainly because of the lack of design assistance tools answering the: How to make (the Process) destined for architects. Because the vernacular solutions (strategies and devices) generated by the previous bioclimatic analysis are often summaries that only indicate 'what to do' rather than 'How to make' (objective of the research).

2.4 Results and discussion

The proposed figure 2-7 illustrates a habitat design flow chart that offers ways to significantly improve a building's energy performance while accounting for local conditions and human comfort. These improvements are due to two types of integration: devices and

strategies' correlation and devices and strategies' interaction. These integrations play the role of a shock absorber on temperature variations and contribute to temperature stability, adding air cooling and heat savings as appropriate. This stability reduces energy consumption for heating and air conditioning.

These vernacular device strategy integrations cannot be easily separated; the choices made for energy savings in colder months will have direct consequences on a building's behaviour in hot weather, and thus only an optimal combination of several systems allows buildings to respond effectively to arid climates.

The process outlined in figure 2-7, illustrates how integrations can be performed according to a building's component type, the choice of devices to integrate and the meteorological conditions. A simulation model to evaluate a building's thermal behaviour has been developed, using the EnergyPlus software due to the maximum number of existing models availability within its database in order to solve the retained vernacular strategies and devices. This model evaluates, from the sketch phase, the impact of integrating specific devices on a building's energy performance. The tool simulates a building's global performances in term of energy needs. To establish a corresponding integration model, a model to simulate the integration of devices' and strategies' interaction was developed, followed by a model to simulate the integration of devices' and strategies' correlation.

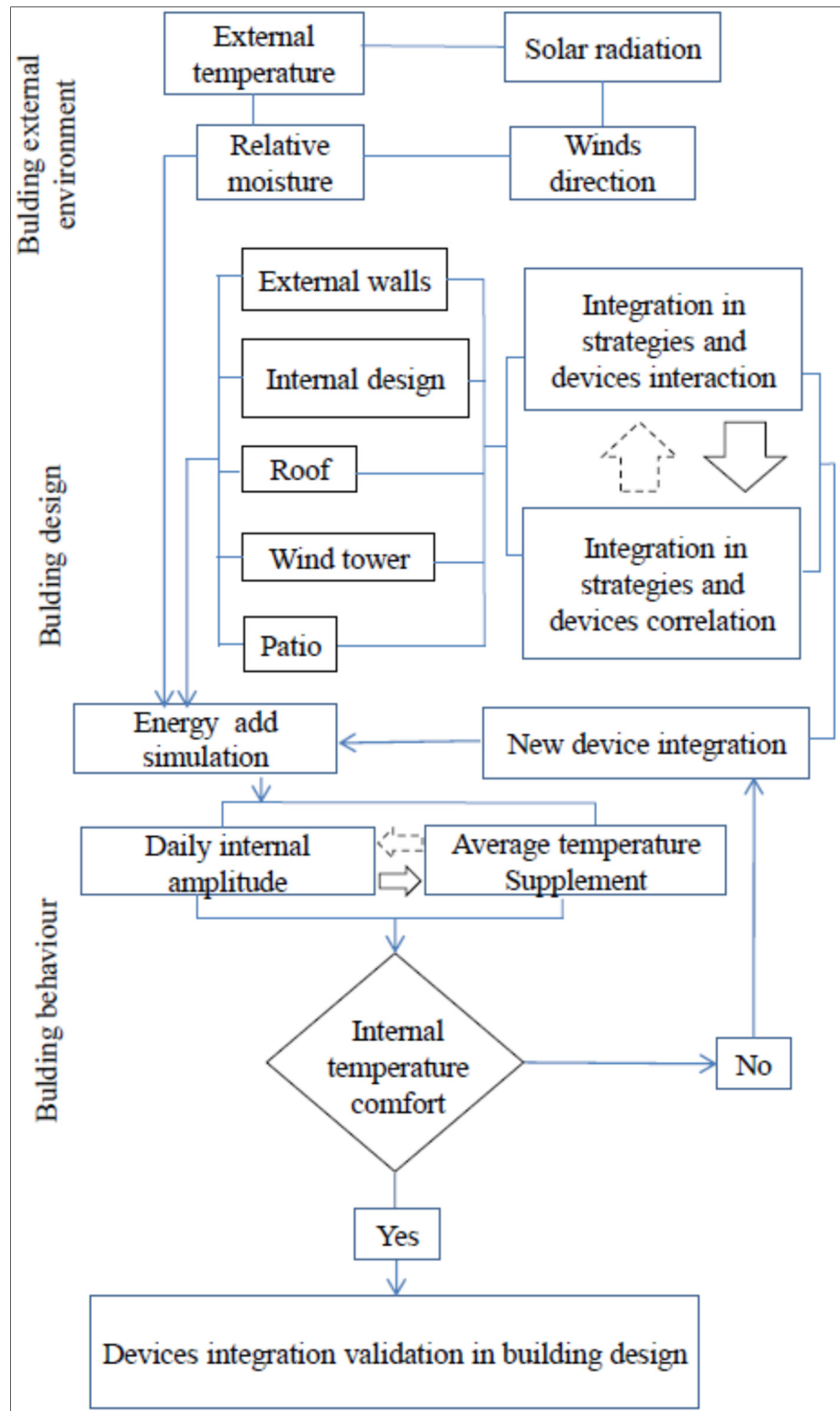


Figure 2-7: Development of the habitat design process from the analysis of different strategies, connexions and device configurations

To identify the links between integration and thermal phenomena and thus to predict a building's thermal behaviour, the developed process accounts for various combinations of devices that can be integrated into a building (exterior walls, interior design, roof elements and design, wind tower and patios). This process has the advantage of accounting for the thermal interaction between devices themselves, and between devices and the building in order to optimise this integration.

Evaluating a building's internal thermal performance and the integration of devices and strategies involves introducing how it is possible to evaluate this performance, and then exposing the method with a view to realise applications in future research. The models developed as part of this method to combine interaction integration and interaction correlation then need to be linked to form a model capable of accounting for all of the elements with all their interactions.

The thermal performance of the devices studied can be evaluated according to the standard configuration of a designated building. The simulations will contain dynamic hourly calculations of the air interior temperature within each zone. The building temperature simulation will be based on the annual typical meteorological data of the local region under study (meteorological typical year by Meteronom), which has a large database and allows an evolution of even more precise ground temperature in the geographical areas considered.

In order to evaluate the heating and cooling loads for the various building configurations studied, a comparison of the annual balances for these different configurations will be carried out in order to validate the integration of the objective integration.

These devices, adopted to improve internal comfort conditions (and thereby lower a building's energy needs) by their integration with the architecture, are not necessarily specific to vernacular buildings, but their reinterpretation could guide their use. Assessing the impact of incorporating these vernacular device strategies on reducing the need for air

conditioning and heating under arid climate conditions will undoubtedly lead to a renaissance of vernacular building techniques.

The final process allows a habitat designer to evaluate the implications of the energy aspects of different designs, and of the integration of these optimised devices in the design phase. Thanks to this process, it is then possible to evaluate integration impact of these vernacular devices in specific buildings under particular climate conditions. This process thus proposes a new methodology for habitation building design which allows evaluating the energetic aspects of integrating vernacular devices and to measure their performance in the first design phases.

2.5 Conclusions

The study demonstrates that it is possible to develop a process for architectural design based on the analysis of different vernacular device configurations and strategies. This analysis links a building's energetic aspects and occupant's comfort which allows the modelling, and evaluation of the potential of various strategies and devices to improve energy efficiency in arid regions.

Different vernacular devices and strategies deployed in a vernacular habitat generate a comfortable atmosphere by exploiting natural systems, intervening in a complex manner to create a multi-level system that protects inhabitants against the extremes of arid environments. The interior comfort zones of this vernacular habitat depend on several parameters which are in turn closely interrelated. It is therefore difficult to accurately predict this internal ambience in a habitat, especially with changing weather conditions. In fact, sunshine level evaluation and the control of solar radiation in a habitat can be complex task due mainly to the conflicting character of numerous requirements. Diurnal thermal variations constitute additional data to this problem, and also offer a reservoir of design options (air exchange facilitated by temperature differences, for example).

However, the developed process allows, on the one hand, the integration of proper potential of arid areas in the housing construction design. On the other hand, establishing a good understanding of the different parameters which intervene in thermo-radiative exchanges in a particular climate and in typical building types allows for a better understanding of the limits of integrating a building's design with its environment: The interaction between energy issues, the different design choices, and how the choice of vernacular devices may condition the energetic behaviour of a building.

In addition, the exploration of this developed process by building professionals in the housing construction design allows the reinterpretation, promotion, modernisation and optimisation to achieve designs that work even better at moderating the effects of arid conditions which seem to be reaching more extreme levels due to climate change and incorporate air flow rather than functioning simply as barriers. Increased use of vernacular devices will reduce the need for fossil energy to create acceptable comfort conditions.

Also, this process gives designers the opportunity to integrate other requirements in an appropriate manner, using techniques that offer financial incentives and include cultural heritage to build habitations adapted to specific contexts, which contributes to a scientific research.

This contribution creates an outline for ongoing scientific research that will allow the building sector to meet new requirements by significantly decreasing its environmental impact, particularly, evaluating environmental quality.

CHAPITRE 3

ARTICLE 2: THE PASSIVE AMBIENT COMFORT AND THE INTERACTION OF VERNACULAR STRATEGIES AND DEVICES IN ARID ZONE HABITAT DESIGN: CASE OF BISKRA, ALGERIA

Belkacem Berghout *and Daniel Forgues
Department of Construction Engineering,
École de Technologie Supérieure, Montréal (QC),
University of Quebec, H3C 1K3, Canada

This chapter has been published on April 25, 2019 in
Advances in Building Energy Research, DOI: 10.1080/17512549.2019.1607775

Abstract

Up until the industrial revolution, energy consumption was relatively linear, and almost exclusively renewable. The exponential industrial and economic development that began with the industrial revolution became increasingly energy-intensive, and since the switch to fossil fuels that energy consumption has been based on non-renewable resources. Satisfying the energy needs of the present without harming future generations remains a complicated problem, especially at the habitat level. This article proposes a methodology for building designers, building upon research on converging towards a global optimum, more specifically, it investigates the feasibility of integrating mezzanines and vaults as vernacular devices to improve the energy performance of buildings in arid zones, while ensuring the comfort of the occupants. This level of comfort and energy performance is based on the morphological structure of the proposed building type. Combined, these devices result in a higher reduction of thermal in energy ratio load of up to 20.84%. These reductions in energy needs were achieved by applying the methodology developed for the architectural design of a building located in Biskra, Algeria, a design that takes into account both the comfort aspects of the occupants and the need for reduced energy consumption.

Keywords: Mezzanine; vault word; energetic performance; comfort; conceptual processes; arid zones.

3.1 Introduction

The building sector offers a huge energy-saving potential in arid countries, and especially now as they are embracing accelerated urban growth. In this context, energy consumption related to housing has become a major issue, as the construction sector is one of (if not the) the largest energy-consuming sectors, and thus the sector that is mainly responsible for greenhouse gas emissions (Beguín, 2011). According to the Ministry of Energy and Mines of Algeria, energy consumption in the residential sector accounts for 38% of the country's total consumption. As a result, this sector accounts for 16% of Algeria's greenhouse gas emissions.

Faced with these challenges, the only way forward is to improve the energy efficiency of housing projects. In northern countries, design and representation have evolved into digital tools; the industry has moved towards advanced production materials and construction techniques and has diversified into several specialties, including energy. Design professionals have access to advanced and relatively elaborate design procedures (essential but extremely difficult to apply state regulations, high standards such as those for the HEQ® approach, energy labels based on the design phase) (CITEPA, 2007; Dehausse, 1988). Other approaches based on simulating operator details (e.g. EnergyPlus™; TRNSYS; DOE) have been developed with the objective of designing models of individual energetically efficient buildings (Lee et al., 2011; Hawkins et al., 2012; P.-Y. Kuo & J.-C. Fu, 2012). While these procedures are satisfactory from a performance point of view, they often cannot be developed on a large scale for technical, economic and/or environmental reasons. The situation is somewhat different in arid environments; the technology and approaches used in the northern countries are costly and offer only a rather low yield, making them unprofitable for countries in the South (especially in arid zones). Moreover, these technologies have a short lifespan (around 30 years), and thus their production and recycling could be very polluting (Denis, 2012). They are ill-adapted to the architects' design approach in the south, making it difficult to combine energy performance objectives with the architectural project approach.

In sum, the basic knowledge of and even the mastery of these diagrams of bioclimatic analysis and evaluation of comfort are not sufficient without some practical experience (Mazouz, 2005). The solutions offered as 'strategies and devices' generated by bioclimatic analysis are often summarized by indicating only the 'What to Do', and thus they help to identify relevant strategies without quantifying their impacts or defining the 'How to Design' (M'Sellem & Alkama, 2009). Recourse to these vernacular solutions is often the result of experimental initiatives not governed by conceptual processes, which does not favor the creation of a common pool of knowledge nor the establishment of good practice in this field. This situation reveals the need for a design approach that incorporates a dynamic simulation tool to evaluate the impact of each device on the cooling and heating needs before its implementation in the final design. Confirmed by (Toutou Ahmed., Fikry Mohamed, & Waleed., 2018), parametric modeling is gradually adjusted to design practice by means of tools like Grasshopper, Dynamo, and Generative Components. The capability of adding many plug-ins to parametric modeling could be a practical approach to ease holistic simulation support. Examples of plug-ins for the possibly most broadly used tool, Grasshopper, include: Honey- bee which links to Radiance, Daysim, Energy Plus, and Open studio.

In such a situation, design assistance tools could play a valuable role (E. Morello & Ratti, 2008). Which facilitate interactive visualizations of thermal simulations (Østergård, R.L. Jensen, & 2016). This article is in addition to the first article structuring the previous methodology already developed, which deals with: passive ambient comfort and the feasibility of integrating vernacular devices into the design of arid zone housing. The analysis of the application of the parameters to reduce the energy needs while ensuring the comfort of the users, in the contemporary home design, developed in this last first article made it possible to distinguish two cases of case: case of correlation integration of strategies and devices and the case of interaction integration of strategies and devices (object of the present research).

The objective of providing sensible choices and adequate solutions for energy efficiency and thermal ambiance for users: these are the conditions of temperature, humidity and wind to which the agents are exposed, the adoption of solutions accessible to architects, with means they are familiar with is considered necessary. These integration solutions of devices and strategies in the design of the accommodation constitute an interface between the architecture, the sciences of the engineer and the human sciences. These latest collaborations should lead to useful results for architects in the design of housing that offers a reduction in energy consumption and a better quality of comfort for users. The combinations of parameters such as (WWR, glazing material, wall construction material and shading devices) lead building to different performance in daylighting and energy (Toutou Ahmed. et al., 2018).

This paper aims to develop accommodation design assistance processes for arid zone building designers for the interactive integration of vernacular devices in a more appropriate manner. The article is structured in six main sections. The first section introduces the subject and states the objectives. The literature review has been described in the second section. The third section describes the methodology. It encompasses how to integrate and optimize the vernacular devices and strategies derived from the results of the bioclimatic analysis, in the design of the building taking into account the energy aspects and the comfort of the occupant and the process developed. The case study the results of a bioclimatic analysis of the city object of the study are presented in the fourth part, as well as the choice of the building. The fifth section deals with the results and discussions. The thermal performance of passive techniques, integrated as much as possible upstream of a building design in the city of Biskra, Algeria, is evaluated by dynamic simulation using EnergyPlus software. The passive techniques studied are: the mezzanine and the vault. The aim is to adapt the vernacular solutions in the current housing design and to measure the consequences of their integration in the simulated building on the energy consumption and thermal comfort of the occupant. Different configurations have been analyzed to evaluate the effectiveness of these passive techniques and their combinations. Finally, the sixth section will consist of a conclusion that

will illustrate and synthesize the results obtained by providing perspectives for future researches.

3.2 Literature review

Traditional architecture for southern arid climates, the result of in-depth knowledge of climatic conditions, combines several passive thermal control strategies and has ensured occupant comfort in arid zones for hundreds of years. This approach would be a logical step for developing countries, especially as they urbanize (much of this architectural approach had already been used for traditional multi-story dwellings). However, the use of these techniques has yet to be optimized for modern buildings. For both comfort and to reduce energy consumption, Kemajou et Mba (2011) confirm that turning to passive air conditioning methods is a valid approach in the search for modern solutions. Several approaches can characterize this comfort: the comfort polygon, the number of hours above a certain threshold (generally in summer), the PPD, the PMV or the adaptive approach. Analytical approaches are developed in climatic chambers. In actual situations, the comfort conditions encountered vary with the context of the studies. In a study conducted on different types of buildings (air-conditioned and non-air-conditioned) located in three Australian cities with different climates, de Dear (R. de Dear & Brager., 1998; R. A. de Dear, 1998) and (Cena & Dear., 2001) noticed the inability PMV to predict thermal neutrality conditions in both building types, whereas linear regression equations determined by previous surveys can better predict thermal neutrality. In non-air-conditioned buildings where the thermal conditions vary with the fluctuations of the external environment, the comfort interval is wider than that provided by the PMV or the SET which have a tendency to overestimate the sensations of heat in summer time in this type of building especially in hot climates.

The method of Fanger consists in analytically determining the heat exchanges between the subject and the environment. Then, depending on the difference between the heat produced and the heat dissipated (heat balance) by the dressed human body, which is supposed to be at the comfort values of the sweat flow and cutaneous temperature. The established « PMV »

indice predicts the average (global) thermal sensation of a group of people on the ASHRAE thermal sensation scale. The works of (P.O. Fanger et al., 1985) on the thermal environment led to the implementation of ISO 7730 (J. F. Nicol & Humphreys., 2002; F. Nicol, 2004). To determine the acceptability of the thermal atmosphere, he linked the PMV to another indice, the "PPD", which provides the percentage of people who will be dissatisfied with the atmosphere considered. The relationship predicts a minimum percentage of dissatisfied people at 5% for a vote equal to zero (neutral sensation), then this percentage increases symmetrically on either side of the zero vote towards the hot and cold sensations. To this analytical model, other models have been cited like the model with two nodes of Gagge which introduces the parameters: ET (new effective temperature) and SET (standard effective temperature) and PMV (PMV calculates starting from ET). The ET calculates the wetting and the skin heat flux. The SET represents the equivalent dry temperature of an isothermal enclosure at 50% of relative humidity, in which a subject, wearing a standardized jacket in relation to his activity, would exchange the same quantity of heat and have the same skin wetting as in the actual enclosure in which he finds himself. In addition, A. Pharo. Gagge (1981) proposes to replace the operative temperature by the actual temperature in the PMV calculation. The PMV calculated in this way is PMV^* allows to makes it possible to better take into account the effects of humidity in a hot zone. These indices, although supposed universal, show an inability to predict the comfort conditions encountered in the studies in situ. They are suitable for buildings with controlled indoor heating, but are unreliable in buildings with free evolution with a tendency to overestimate the level of discomfort.

Similarly, another study was carried out with the PMV and the surprising results were obtained by (Flory-Celini C., Varet G., & Covalet D., 2007) whose objective of characterizing the summer comfort, in July, it was better to apply the night ventilation alone than associating the night ventilation with the addition of phase change materials in the light partitions (the MCPs are supposed to phase out the return of heat and the night ventilation unload them). In addition, it was concluded that the Fanger indice did not correspond to natural ventilation strategies, its range of validity being limited, among others, to speeds

below 0.2 m/s. At the same time, in 2007, (Moujalled) confirms these results, highlighting the inability of the MPV indice to represent thermal comfort in buildings with natural ventilation, noting that PMV overestimated the warmth of the buildings studied in this study in summer and underestimated it in the winter. International Energy Agency (2007) also states that it is necessary to take into account, even in the case of active systems, the range of validity of the Fanger approach given in ISO 7730. To this extent, the adaptive approach seems best suited for naturally ventilated buildings, (Moujalled, 2007; Afnor, 2007; International Energy Agency, 2007). To this extent, several models of adaptive comfort have been developed. The De Dear study cited by (International Energy Agency, 2007) takes into account the average monthly temperature to analyze this type of comfort (Cena & Dear., 2001), retained the calculation proposed in standard NF EN 15251 (Afnor, 2007), which retains a daily smoothing for non-air-conditioned buildings: According to this standard, non-air-conditioned buildings are buildings without air-conditioning and for which the reduction of high indoor temperatures in the hot season is based on other techniques such as the moderate size of windows, adequate solar protection, use of building mass, natural ventilation, night ventilation, etc., to prevent overheating, which improves thermal comfort and reduces energy consumption. Methods dealing with adaptive comfort do not generally define limits when it comes to air humidity EN15251 (2007), standard ASHRAE55 (2004) and is limited to operating temperature. The ASHRAE adaptive comfort standard recommends using this method for naturally ventilated buildings. This last adaptive comfort is an interesting way to explore in climates of arid and semi-arid zone.

In vernacular, the combination of the three modes of heat transfer: conduction through solid or opaque walls, air convection and radiation especially through vitreous surfaces and integrated into the design of the habitat whose objective ensures the comfort of the user. In this perspective, it has already been demonstrated by several researchers cited (F. Boudali Errebai, L. Derradji, Y. Maoudj, M. Amara, & Mokhtari., 2012) who present a study of numerical simulations of thermo-aeraulic behaviour (study of the temperature profile of the ambient air of the habitat) of indoor environments, using Fluent TM fluid mechanics software. The main objective of which is to evaluate the thermal comfort by comparing the numerical

results obtained for a house integrating in its design the vernacular devices by other houses integrating in their designs of the various active systems. The results obtained show that the integration of vernacular devices in the design of accommodation allows to ensure a better thermal comfort. And that the vernacular strategies generate a better thermal comfort compared to the other types of habitats whose their conceptions integrating the active systems. Globally, the differences between the indices of comfort observed between these types of studied dwellings are negligible, nevertheless, the integration of devices into the accommodation design gives better comfort ratings PMV and PPD. In terms of energy consumption, this integration of devices and strategies allows for greater reductions compared to other active systems studied.

In addition, the results obtained by Mokhtari et al. (2008) have shown that in arid and semi-arid zones, the additional investment for vernacular construction is very low and it will be quickly absorbed by savings of up to 40 % on the energy costs. However, in Algeria few studies have examined the impact of buildings on the environment and their energy performance (N. Fezzioui, M. Khoukhi, K. Dahou, Aït-Mokhtar, & S. Larbi, 2009; Fezzioui, Benyammine, Tadj, Droui, & Larbi, 2012). This situation is clearly illustrated by the unattained results of state contract bids relating to the various ECO-BAT programs for high-performance housing units Ministère de l'habitat et de l'urbanisme (2009). These poor results can be explained by the lack of expertise and the lack of knowledge in bioclimatic design and in the control of building energy performance among local professionals.

Indeed, it is rather difficult to define the principles of bioclimatic construction and to make them systematically applicable, as this construction is, by nature, intimately linked to its environment. When the local context is taken into account by relying on purely architectural methods, this type of architecture is called vernacular architecture. The analysis and evaluation of vernacular design strategies requires methods that account for the inputs to a building's envelope energy calculations and can thus allow the impact of vernacular envelope design strategies to be assessed. These latter strategies are usually evaluated using three tools adapted to arid climate: the (V Olgyay & A. Olgyay) bioclimatic graph, the

(Szokolay)/(Givoni) psychrometric diagram, and the Mahoney table (Givoni, 1978b). The V Olgyay & A. Olgyay bioclimatic map is based on outdoor climate factors that consider moisture as a function of temperature. The monthly relative humidity and minimum and maximum temperature data are reported in a table. If the line drawn is in the comfort zone, the conditions are comfortable in the shade and in quiet air. If the line falls partially or totally outside the comfort zone, corrective measures are required such as using solar radiation, air movement or evaporative cooling.

Szokolay/Givoni use a psychrometric diagram for bioclimatic analysis. A psychrometric diagram is the graph of the local thermodynamic parameters of moist air at constant pressure. The Szokolay/Givoni graph predicts the conditions of comfort in a building as a function of the external climatic factors.

As in the (V Olgyay & A. Olgyay) graph, the combination of monthly temperature and relative humidity indicates the recommended passive design strategy for each month. The diagram contains the comfort zone, marked by a solid line, and several areas for passive design strategies, namely passive solar heating, humidification, evaporative cooling, natural ventilation and high thermal mass.

The Mahoney Table is a set of reference tables that use monthly climate, relative humidity and precipitation data to calculate heat and cold indicators and wet and dry conditions for each month. The combination of these indicators translates into simple design recommendations: reducing/increasing exposure to the sun, configuring spaces according to activities and functions, etc.

These bioclimatic diagrams and thermal indices make it possible to evaluate thermal comfort on a global scale and thus to synthesize the information to obtain general orientations in the initial stages of the design process. Although they are based on databases and structure-based calculations, they are not used as measuring instruments because their degree of measurement is not directly transferable into energy-efficient designs (M'Sellem & Alkama,

2009). Similarly, these bioclimatic diagrams and thermal indices are not exploited directly from the primary architectural design phase, due to the lack of complementary tools to incorporate energy performance and to offer design assistance. A 'How to Process' methodology for designers to help them realize the strategies and principles generated by those tools is still needed (Kemajou & Mba, 2011). The optimal design of energy efficient buildings in arid zones requires design assistance tools prior to implementation (Susanne et al., 2014).

3.3 Methodology

This research complements an earlier work on passive ambient comfort and the feasibility of integrating vernacular devices into dryland habitat design. This research seeks to answer the following key question: to what extent could the interaction of vernacular strategies and devices in habitat design influence passive ambient comfort in arid zones? To answer this research question, a methodology for optimizing these vernacular devices has gained a privileged place in the design process with the objective of converging towards a global optimum. This methodology will consist of two phases:

- A first step is to carry out a bioclimatic analysis of the studied city. The objective is to identify the impact of the vernacular devices resulting from this last bioclimatic analysis with respect to the research question and to suggest an original framework of study, which introduces the important characteristics identified in this analysis as cofactors (indicators) determining the energy improvement of the habitat. The conclusions of this bioclimatic analysis will be considered as a database for the second stage, in order to propose architectural recommendations that aim to focus on the research question; and
- A second step is to analyze the vernacular devices listed in step 1, which can be integrated into the building envelope. To do this, (EnergyPlus™) software (DOEa; DOEb, 2015c; DOEd, 2015a) was used to evaluate the influence of these different integrations of devices on the energy behavior of this last building and the comfort of the user, which allows the designer to introduce these integrations through

applications of simulation as a tool for design assistance and subsequently validate the conclusions formulated. By this means, the treatment of these passive solutions makes it possible to improve the thermal performance of the building envelope, a comparison of the different solutions and combinations selected will be made. It is then up to the designer, in view of the results obtained to select the solution (s) presenting the best compromise in the improvement of the indicators.

3.3.1 Bioclimatic analysis

Following the results of the bioclimatic analysis studies conducted by Berghout (2012) and (Berghout, Forgues, & Monfet, 2014), the implementation of passive strategies is essential to achieve the desired comfort conditions within such buildings. With an appropriate architecture that considers climate data, the occupant's comfort can be improved and a considerable reduction in energy consumption can be achieved by using purely architectural processes while using a reasonable amount of energy-active technologies.

3.3.2 Referential development

At this stage, it is necessary to identify the variables and the mutual influences that make it possible to ensure the thermal ambience of building occupants in terms of air conditioning and heating requirements. The goal is to build a conceptual process that integrates two types of integrations: interaction cases of strategies and devices and correlation cases of previously identified in the first article which deal with passive ambient comfort and the feasibility of integrating vernacular devices into arid zone habitat design, as well as the impact this integration will have on its environment (thermal comfort, energy consumption) in a real-life situation where the designer is subjected to various pressures. Two realization loops were developed for this conceptual process for both types: interaction of the strategies and devices and correlation of the strategies and devices, thereby allowing the model to be applicable to the design of any residential building.

Both of these loops incorporate adaptive mechanisms and conceptual decision processes. Thus, they support the objective of ensuring the thermal ambience of the occupants while offering the designer additional options. There is no single solution for the energy problem when designing a building. Accommodating that maxim, this approach allows for structures with a large number of variables (devices and strategies) with diverse natures as long as the designer creates buildings for the users' benefit. That key objective is reinforced by the relations defined in both of these design loops.

Figure 3-1 is a diagram of the proposed interactions that describe how to create reciprocal influence by incrementally adding new vernacular devices, allowing a collection of devices or strategies to form as a group that renders the behavior of each device or strategy a stimulus for another device or strategy.

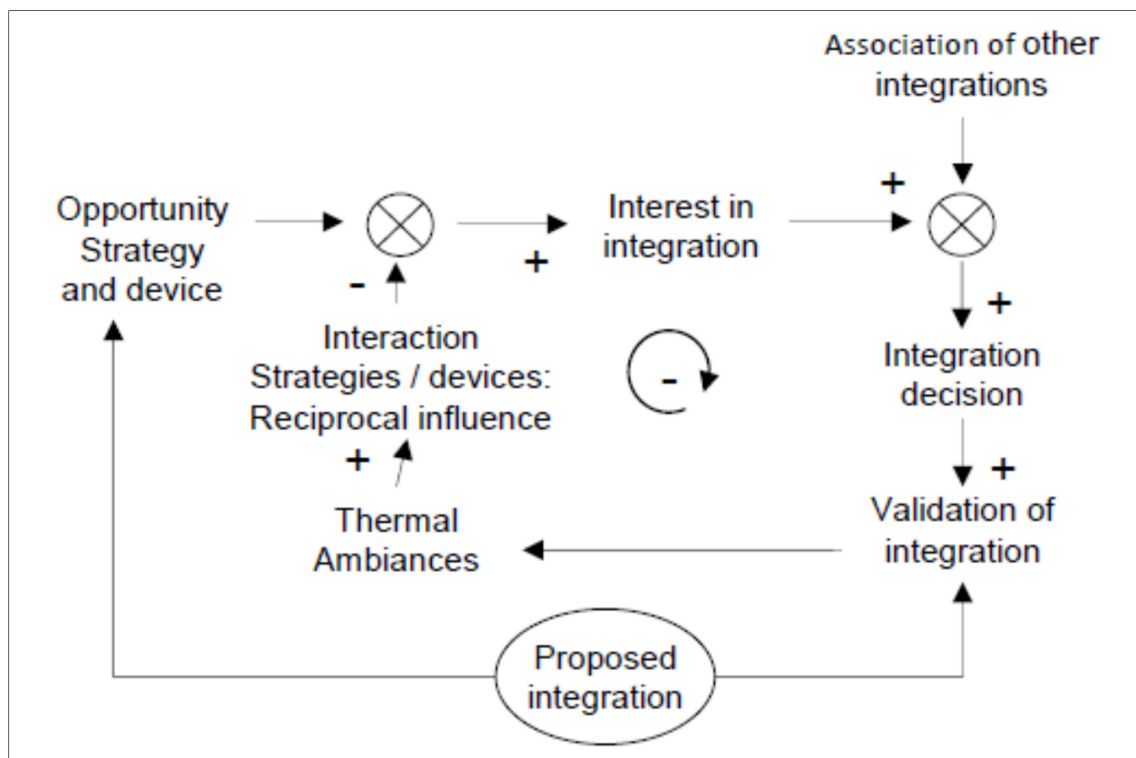


Figure 3-1: Loop of the conceptual process related to thermal ambience based on the interaction of strategies and devices

Following this loop makes it possible to model the expectations of the building designer, who is perceived as being conscious of her actions in integrating devices, anticipating the likely results with regard to the energetic objectives. Through the EnergyPlus the designer can analyse the integration of actions in combination with a building's thermal ambience; as soon as results contrary to expectations are observed, adjustments can be made that in turn will be linked to new integrations of other strategies or devices. This process allows the effects of these strategies and devices taken separately to be determined in order to find the optimum solution to the energy problem. Thermal ambience is thus made a factor of the interactions between the devices, strategies and mechanisms of adaptation that can be represented by the proposed loop.

A buffer zone building device, in which the temperature is always ambient, is one type of this interaction of actions. Each action of the association that is carried out corresponds to an anticipated action that should generate a result which will accumulate in the satisfaction of air conditioning and heating needs, in this case by associating solar energy, natural ventilation and solar radiation control. The level of integration that can act in combination with the "thermal ambiances" is strongly dependent upon the environment in which a building is located. Thermal ambience must be continually evaluated to assure the satisfaction of human comfort needs; the results of each assessment generates more or less interest in a proposed action. This process not only can reduce heating requirements, it can also improve thermal comfort. Associating other strategies to a buffer zone device will thus better respond to the constraints of both summer and winter periods, and these associated strategies can become a stimulus for this integrated device. These motivations will influence the decisions on the integration actions, which will determine the action actually taken in response to a proposed action. Thermal ambience is also used to represent the satisfaction of air conditioning and heating needs.

The interaction between strategies and devices is the driving force of any integration action. However, the interest in the action of device integration here, which is different than that of the loop of integration's illustrated in figure 3-2, is strongly dependent upon the objective

environment in which the building is located (including the list of proposed actions selected during the finalization of the bioclimatic analysis of the city being studied). To this end, the notion of strategy and device opportunity has been introduced and will be determined from the list of actions proposed by the designer to determine the interest in a proposed integration action in combination with the thermal ambience.

Figure 3-2 illustrates the correlation diagram: a reciprocal relationship between devices and strategies either (strategies/strategies) or (devices/devices). It shows the relationship between the two terms, one of which logically calls the other. This relationship makes it possible to identify the degree of linkage between strategies and devices.

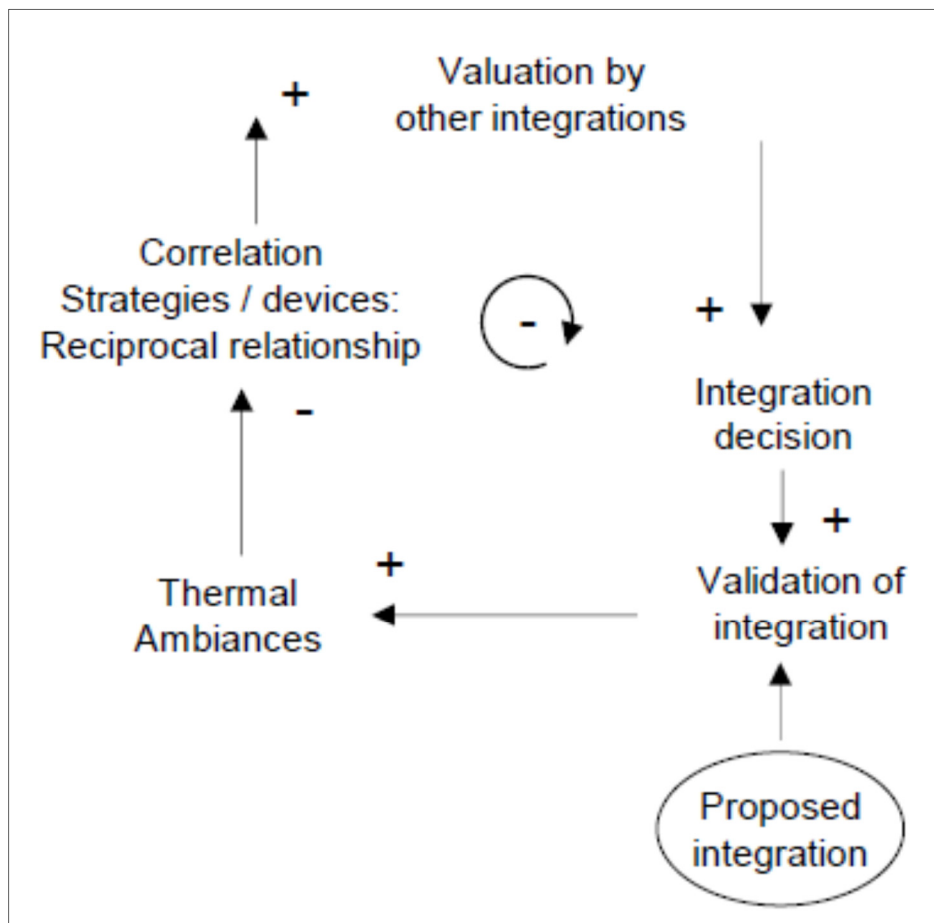


Figure 3-2: The conceptual process loop related to thermal ambience based on the correlation of strategies and devices

This loop (figure 3-2) describes the decision process for selecting actions by integrating other devices according to the satisfaction of air conditioning and heating needs when the ambient temperature is not within what is considered a normal state of comfort level. The designer is called upon to enhance his design by integrating other devices with the initially-designed device(s) or strategy(s) in order to obtain more satisfactory thermal conditions.

To characterize the satisfaction with air conditioning and heating requirements in our study of thermal comfort, we use the thermal ambient variable. The correlation between strategies and devices will be the motive of any integration or valuation of an integration action of vernacular devices.

In addition to the two loops presented above, the diagram of the methodology structure (Figure 3-3) introduces the three main elements: the external environment, the designer and the building. The diagram makes it possible to account for the climatic context that influences the relationship between the devices and vernacular strategies to be integrated. As for the other elements (the designer and the building), each can be considered as a subsystem recognized by a boundary in its active environment and containing a number of elements in interaction and correlation.

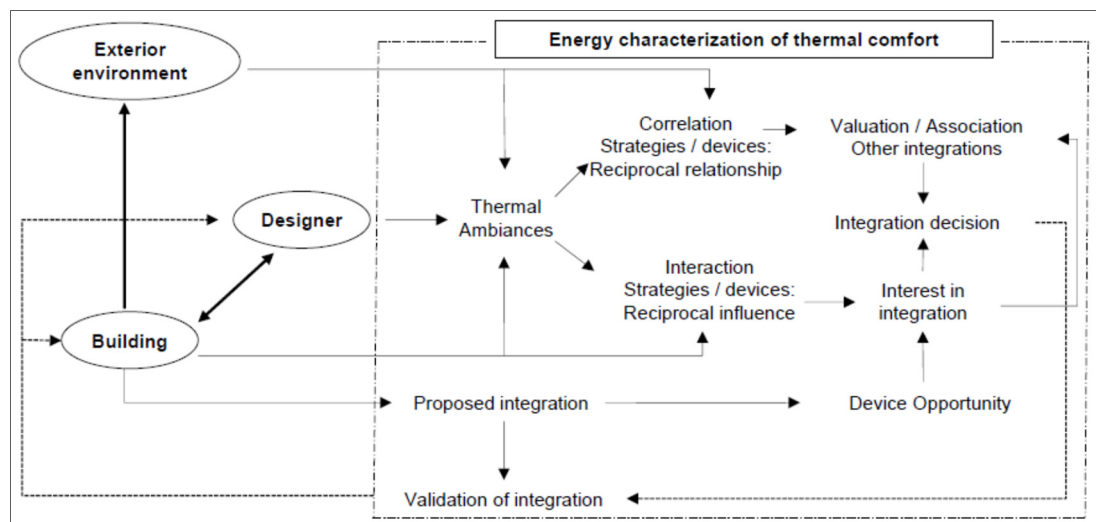


Figure 3-3: Proposed structure for a process design framework for achieving thermal ambience

The global causal diagram combines the two loops shown in Figures 3-1 and 3-2. This combination favors iterations that facilitate the designer's decision process in integrating devices or strategies into his building to balance the state of thermal ambience of the occupant with a minimum amount of energy consumption. In particular, it allows the modelling of the behavior of a specific device in a situation with a potential risk of discomfort. The two loops can be considered as subsystems that represent the interactions and the correlations between the devices/strategies and the proposed building.

The interaction-type conceptual process allows integrations of devices/strategies considered according to a sequential model. The latter integrations provide help on the important choices made during the sketching phase and will be the subject of a practical guide for recommendations and assistance to dryland habitat design. However, the second correlation-type process allows designers to perform device/strategy integrations as a simultaneous approach. The different strategic phases of this last process are linked in a parallel and not successive way as the case of the second article already developed. These subsystems constitute our contribution to the dynamic modelling of thermal ambience.

3.4 The context of the case study

Biskra is situated in the south-east of Algeria, at a latitude of 34° 48' North and a longitude of 5° 44' East. It rises to an altitude of 83 m, and is characterized by a very intense solar radiation in summer, which in the hottest month (July) reaches a daily average of 5962 Wh /m² for a horizontal surface.

3.4.1 Climatic characteristics of the studied zone

The region of Biskra has an extremely dry semi-arid climate, is defined by only two seasons: a hot and dry summer, with daytime temperatures ranging between 38 and 48°C and nocturnal temperatures of 16 to 20°C, and a cold winter, with daytime temperatures ranging from 6 to 18°C and night temperatures falling to -5°C, and a relative humidity that remains low, around 22%. The region enjoys a limited rainy season from December to January with

minimal rainfall in recent years. In these severe climatic conditions, much of the energy consumption is devoted solely to air conditioning in order to provide building occupants with adequate thermal comfort during hot periods that occupy a large part of the year. Residential buildings are confronted with problems of discomfort related to the phenomenon of overheating as the exposure of facades to intense solar radiation causes an excessive consumption of electricity for air conditioning.

The statistics provided in 2012 by the (Société Nationale d' Électricité et du GAZ) branch of Biskra Province (Figure 3-4) indicate that the electricity consumption was 2769919 kWh/year for a sample of 1667 subscribers - giving an electricity consumption for an individual residence of 3600 kWh. The third quarter (July, August and September) alone accounts for nearly 55% of this consumption, i.e. 1501214 kWh. In the case of collective habitats, a similar distribution is obtained, with consumption of around 10359314 kWh/year for a sample of 7356 subscribers, with 5005219 kWh (48%) consumed during the third quarter (2723 kWh per household) (Ministère de l'énergie et des mines [MDEDM], 2009). This energy demand by individual and collective residences increases each year.

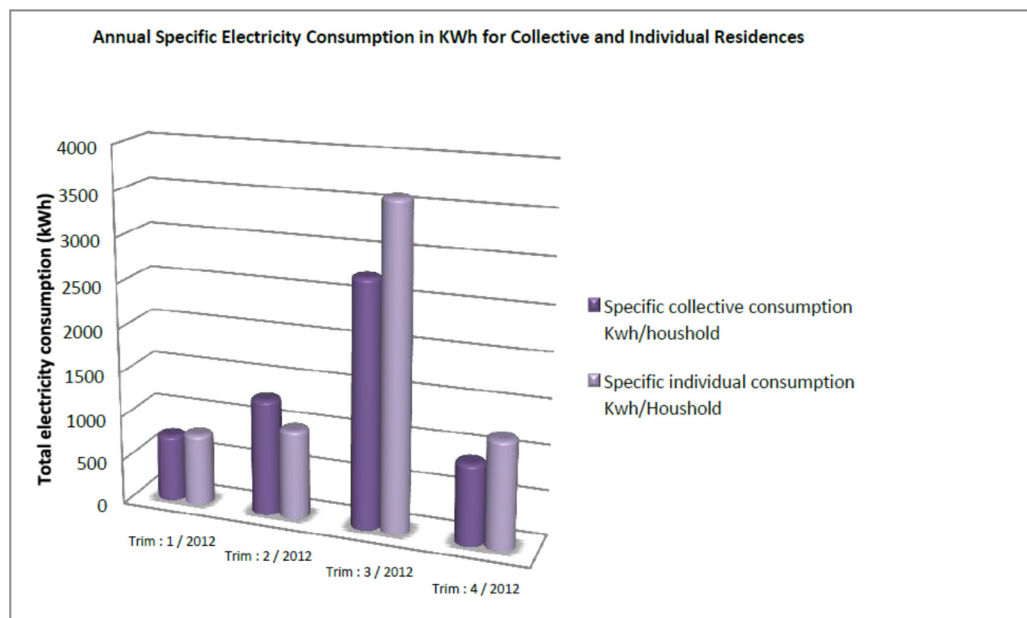


Figure 3-4: Annual electricity consumption in KWh for collective and individual residences in Biskra, Algeria. Source: Sonelgaz Biskra

3.4.2 Bioclimatic analysis of the city of Biskra

A bioclimatic analysis of the city of Biskra as a whole was carried out by Berghout (2012) and Berghout et al. (2014). Figure 3-5 presents the specificities that were evaluated using various methods. This analysis, based on the application of thermo-isopleths and psychrometric diagrams (Szokolay) as well as on table charts (Mahoney, 1967), makes it possible to define the comfort zone of the city being studied, a first step in determining the strategies to adopt to resolve thermal discomfort problems.

This analysis revealed that providing comfort in this environment is not limited to mechanical devices: it is possible to achieve with a good architectural design, which takes into account passive techniques, the judicious choice of implantation, optimal orientation and environmental climatic factors.

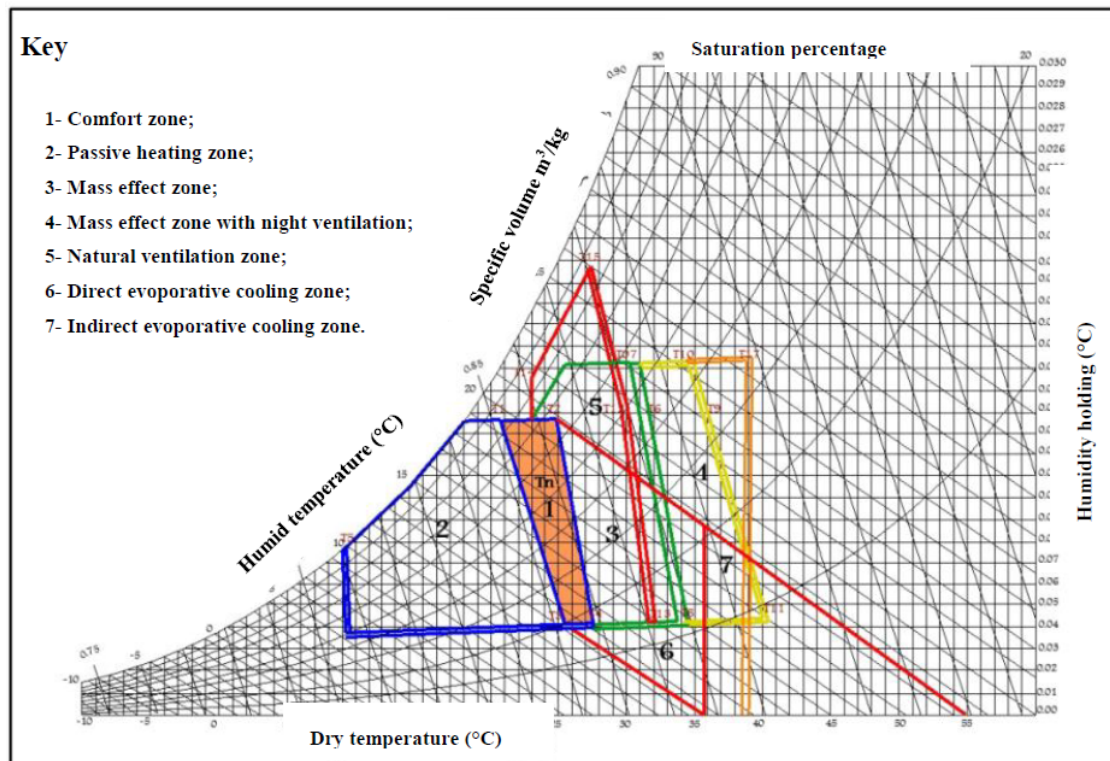


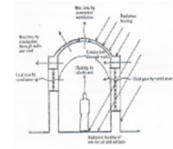
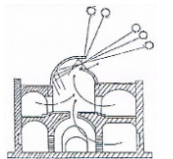
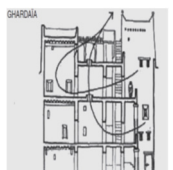
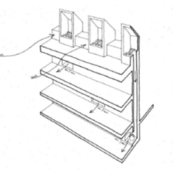

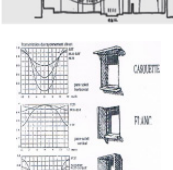
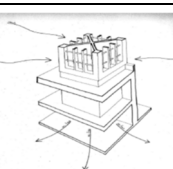
Figure 3-5: Psychrometric diagram of Biskra, Algeria from Biskra
Source: Berghout (2012)

The application of passive strategies is essential to achieve the desired comfort conditions inside residential buildings, especially during the hottest months of July and August. With an appropriate architecture that takes into account the above-mentioned data, the occupant's comfort could be improved while realizing considerable reduction in energy consumption by using purely architectural methods and active technologies. This analysis makes it possible to discover that achieving comfort in a hot dry climate is not limited to mechanical devices; it is possible to achieve it with good architectural design that takes into account passive techniques, the deliberate choice of implantation and the optimal orientation while considering environmental climatic factors.

Based on the bioclimatic analysis of the city of Biskra (Berghout, 2012), the passive strategies (Table 3-1) recommended for achieving a desired comfort level in residential buildings are:

- In winter: passive heating is recommended, good exposure to the sun (solar radiation) and the judicious choice of materials;
- In summer: during the hot season, which lasts longer than the cold season, cooling needs are much higher than the winter heating needs. The months of great heat require passive cooling: a compact plane, the mass effect and thermal inertia, night ventilation and evaporative cooling, as well as the integration of the extensions of the interior spaces.

Table 3-1: The device(s) or strategy(s) to adopt to solve the problems of thermal discomfort in Biskra, Algeria

Adapted vernacular strategies	Adapted vernacular devices	Actions	Details and diagrams
Energy capture	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Small windows; ✓ Roof windows; ✓ ventilation ducts; ✓ Light well; ✓ Open patio; ✓ Semi-open patio; ✓ Double courtyard; ✓ Mezzanine; ✓ Domes and vaults; ✓ Roof with loggia or balcony; ✓ Double roof with air layer; and ✓ Sunshade roof overhang. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilitate thermo-circulation; ➤ Optimise position, shape and size according to space and orientation; ➤ Ensure relations and apertures between rooms; and ➤ Create thermal draw. 	 
Energy storage	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Appropriate thermo-physical materials; ✓ Small windows; ✓ Building ass; ✓ Phase-change material; ✓ Cellars, ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Increase the walls' heat inertia; ➤ Incorporate Utilize lighter interzone partition walls; ➤ Take advantage of the ground's heat inertia; ➤ Augment and benefit from higher roof inertia. 	
Energy resource control	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Small windows; ➤ Shading devices such as : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Horizontal sun protection on south face (calculated): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mashrabiya; ▪ Awnings; ▪ Horizontal slat blinds located outside... ✓ Vertical sun mitigations on east and west faces: <ul style="list-style-type: none"> ▪ shutters (specific hinge positions for simple shutters on the south; ▪ Vertical blinds located outside... ➤ Shade enhancement (shadows from other buildings) ➤ Integration of buffer areas; ➤ Compact design; ➤ Green roofs ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Decrease surface of direct sun inputs; ➤ Decrease solar input; ➤ Decrease surface-to-volume ratio; ➤ Favour internal apertures; ➤ Avoid heat transfer towards interior by incorporating appropriate material and design: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Wall insulation; ✓ Roof insulation; ✓ Ventilation space under roofs; ✓ Vegetal presence on vertical walls and/or by green roofs (also with gaps for trellis ventilation); ➤ No zenith aperture. 	  
Energy distribution	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Light wells; ➤ Wind tower; ➤ Chimney; ➤ Balconies; ➤ Porches; ➤ Mezzanines; ➤ Design of interior spaces... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Connect roofs to other areas; ➤ Enhance thermo-circulation; ➤ Promote air circulation; ➤ Incorporate direct coupling between captor spaces and other spaces. 	

3.4.3 Experimental study

It should be noted that simulation and experimentation are complementary: experimentation to discover new unknown phenomena or for validation and simulation purposes to understand the interactions of known components of a system. As part of this study, an experiment was set up on buildings located in the city of Biskra object of the study to study the thermal performance of local vernacular devices. For this, the technique used is the experimental technique through the measurements in situ and the results are compared to the predictions of the model. The buildings have been implemented and simulated. This simulation allowed to validate the previous experimental results and to identify the impact of various parameters on the hygrothermal comfort of the user, summer as well as winter, as well as on the energy consumption of the buildings, such as the variation of the location and orientation of buildings in relation to the sun and the wind, the color of the walls, the nature of the exposed walls, the integration of shading devices such as the loggia and the management of space. This has made it possible to derive the optimal parameters to improve the comfort conditions and thus, lastly, highlight the strategies to be adopted for such types of collective buildings in the city of Biskra (Berghout, 2012).

However, the aim of this research is to fill the lack of arid zone field devices. Therefore, it was therefore relevant to use the methodology developed in the end to converge towards a global optimum (object of the present research). The calculations made by (EnergyPlus™) are certified by the United States (US) Department of Energy (DOE; Deru et al., 2011) and by the Pacific Northwest National Laboratory (Goel et al., 2014), who conducted numerous calibrations and checks on the quality of the results.

3.4.4 Selecting the building to be analysed

The architectural design of the study's building is inspired by a typology of the most prevalent building type in the territory of the city of Biskra, realized during the 1970s as shown in Figure 3-6. Climate was an extremely influential factor in the design of this building type realized by the brothers Hany and Abdel Rahman (El-Miniawy, 1970). These

habitat units are characterised by a large capacity both horizontal and vertical, exposing a minimal surface to the summer sun or the winter winds. This type of configuration responds to twomajor constraints of this climate type: direct and diffused sun rays and air quality control. Balconies, covered passages and/or archways were incorporated to create shaded areas for residents' comfort.



Figure 3-6: The model, an inspirational residential building by H. and A. Rahman.

All of these integrated devices contribute to creating a comfortable environment within this building. It should be noted that the energy performance of these habitat units is acceptable even under severe climatic conditions (Salama, 2001), as these units require little air conditioning compared to most other public housing projects built in the same city.

The efficiency and comfort level of this building inspires us to think about its design in relation to energy consumption and occupant comfort, with the aim of adopting partial or global vernacular architectural solutions to modern building standards.

3.4.4.1 Thermal study of the model building

The building studied, called the STANDARD building, has a total floor area of 1176.74 m², consists of four levels, is oriented North-South, and is composed of four dwellings per level as shown in Figure 3-7.

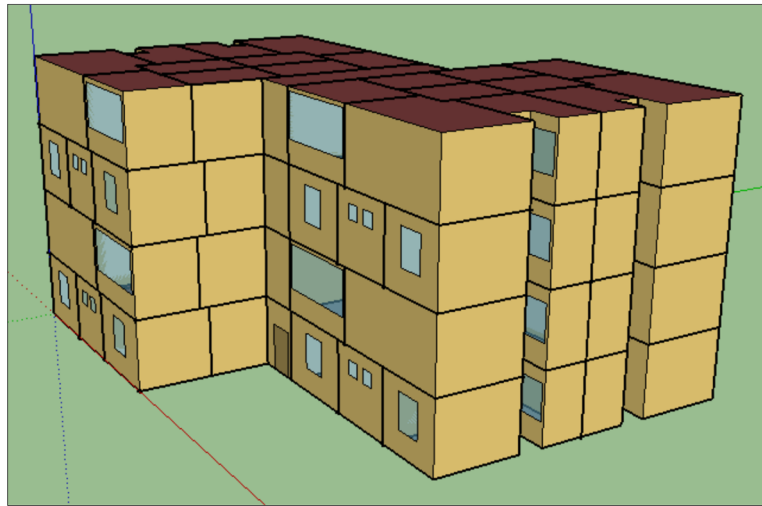


Figure 3-7: Stylized outer view and diagram of the ground floor of the standard building

The thermal performances of the vernacular devices studied, namely the materials utilized in the mezzanine and the vault, are evaluated in relation to a standard configuration of the building (Table 3-2).

Table 3-2: The thermo-physical properties of building materials in the standard building

Materials	Thermal capacity (kJ / kg K)	The thermal conductivity (W / m.K)	Density (kg / m ³)
Mortar	0.84	1.15	2000
Hollow-core slab	0.65	0.96	1300
Reinforced concrete	0.92	1.75	2300
coating	1.00	0.35	1500
Air blade	1.22	0.02	1.204
Brick	0.94	0.65	1.099

The thermal performance of the different design solutions studied are evaluated in relation to the standard building's configuration. In this configuration, the exterior walls are composed of 2cm of mortar, 12cm of brick, 6cm of air, 8cm of brick and 2cm of mortar. The internal walls consist of 2cm of mortar on each brick side of 8cm. The roof is made of 16 cm cinder block and a reinforced concrete slab of 5 cm. These components are consistent with the most widely-used building materials in contemporary buildings in Biskra.

3.4.4.2 Energy behavior simulation of the building

EnergyPlus™ was used to simulate the STANDARD building. The building was modeled using SketchUp. This program even offers a wide variety of traditional design and rendering options. This makes it possible to integrate the vernacular strategies and devices into the building design object of the study and evaluate them and to edit all the surfaces of this building, the zones, select the parameters of the simulation and to manipulate the various inputs whose objective is to launch the EnergyPlus simulation of this building called STANDARD.

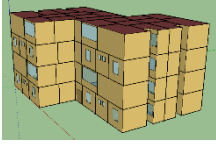


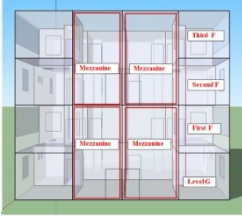
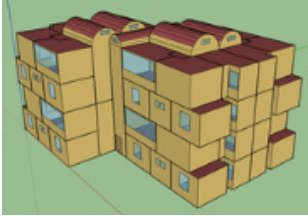
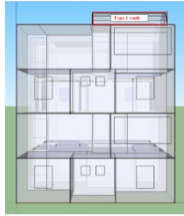

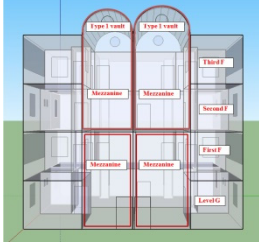
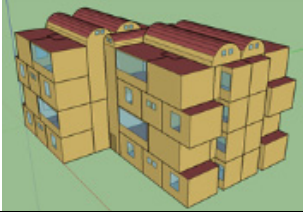


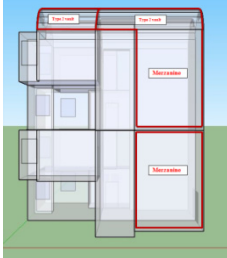
The devices which should be integrated into the STANDARD building design will be modeled and manipulated using SketchUp. These integrations are of the vernacular type rendering option in the architectural design. The annual thermal behavior of this building was simulated by the multizone model. The building has been divided into 03 zones. The simulations consist of a dynamic hourly calculation of the air temperature inside each zone. For meteorological data, these simulations are based on Biskra (typical meteorological year by Meteoronorm - TMY). The analysis of the energy needs of building (due to the heating and cooling) is the basis for the optimization processes of consumption in the residential building sector (Virgilio Ciancio et al., 2018b). With each integration or modification of these parameters, the EnergyPlus™ input file is instantly updated with the new values. The boundary conditions data (Gali & Yilmaz, 2012) used in the energy analysis are summarized in Table 3-3.

Table 3-3: EnergyPlus boundary condition data for the case study's building

	Unit	Value
Heating set-point	°C	20
Cooling set-point	°C	26
Sensible heat gain from people	W.person-1	70
Latent heat gain from people	W.person-1	45
Air change rate (volume per hour)	m3.h-1	0.5

The same thermal simulation scenario was applied in this study to model the STANDARD building with five different configurations. Configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of a mezzanine into the STANDARD building and configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of the type 1 vault that covers a roof area of 98.44 m². The third configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of the mezzanine and a type 1 vault with the STANDARD building, the fourth configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of a type 2 vault that covers a roof area of 144.21m², and the fifth configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of a mezzanine with a type 2 vault as illustrates in table 3-4.

Table 3-4: The types of configurations built into the standard building

Nom du dispositif	Représentation sur le modèle ^{a,b}	Représentation sur le modèle ^c
Bâtiment STANDARD		
Configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of a mezzanine into the STANDARD building		
Configuration (Hachem & Athienitis) corresponds to the integration of the type 1 vault that covers a roof area of 98.44 m ²		
The third configuration corresponds to the integration of the mezzanine and a type 1 vault with the STANDARD building		
The fourth configuration corresponds to the integration of a type 2 vault that covers a roof area of 144.21m ²		
The fifth configuration corresponds to the integration of a mezzanine with a type 2 vault		

3.5 Results and discussion

The objective being to evaluate the impact of the integrated building strategies on the cooling and heating needs, the monthly and annual cooling and heating loads and the STANDARD building energy ratio will be compared with the monthly and annual loads cooling, heating and the STANDARD building energy ratio with different configurations.

3.5.1 Configuration 1

As described in the loop of the conceptual process shown in Figure 3-1, the integration of the mezzanine in the reference building creates a volume that is well-adapted to the climate. The mezzanine's high elevation favors the distribution of air in the building, creating a space where the air circulates to recover the accumulated heat by convection, a process that also helps to heat the building in winter. This improved ventilation and air circulation lowers the ambient temperature within these spaces during the warmer months (Figure 3-8).

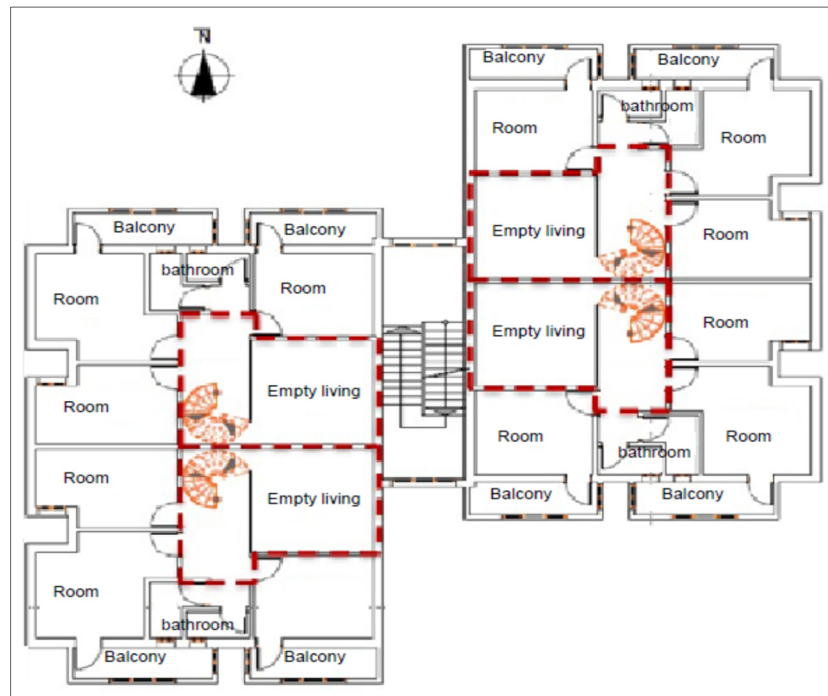


Figure 3-8: The building plan corresponding to configuration 1 (integration of a mezzanine, outlined in red)

Figure 3-9 compares the monthly air conditioning/heating loads for a building corresponding to configuration 1, the integration of a mezzanine, with those of the STANDARD building. The monthly simulation results illustrate that the cooling energy requirements of a configuration 1 building during the hot season, from May to October, vary between 23564.62 kWh and 22264.52 kWh and its heating requirements during the cold season, from November to April, range from BTC 150.85 million to Btu 116.43 million. The total annual charge for air conditioning is: 313058.72 kWh and the total annual heating load is: 1691.68 Million Btu. For the STANDARD building, the results of the simulation of cooling energy requirements during the hot season vary from 29364.52 kWh to 27735.79 kWh and the heating requirements during the cold season vary between 158.05 Million Btu and 120.65 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is: 391591.19 kWh and the total annual heating load is: 1818.62 Million Btu for the STANDARD building.

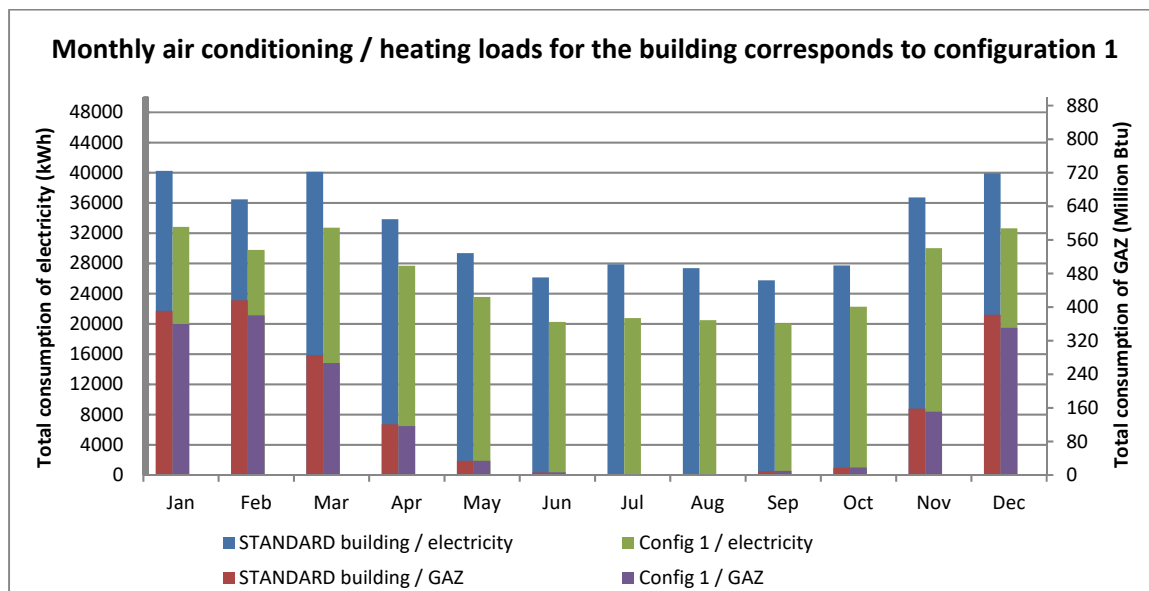


Figure 3-9: The monthly charges for air conditioning/heating for the configuration 1 building compared to those of the STANDARD building

The energy ratio of the building resulting from the configuration 1 is: 94.66 kWh/year/m³, whereas the energy ratio of the STANDARD building (SB) is: 118.39 kWh/year/m³. Either a reduction in energy ratio of the building of 20.04% compared to the STANDARD building (SB). The integration of the mezzanine into the STANDARD building's configuration thus

contributes to maintaining an indoor temperature in summer and winter while reducing the energy consumption.

It is clear that a significant reduction in thermal loads is achieved by implementing configuration 1. This savings due to the air movement caused by the integration of a mezzanine that promotes heat transfer between the different building spaces, called an exchange of thermal energy.

The three basic modes of heat transfer are conduction, convection and radiation. It is possible to have a heat transfer via more than one mode. The direction of heat transfer is always from a space of higher temperature to one with lower temperature. The cycle of this thermal transfer stops in this building when the energy needs for heating in winter and air conditioning in summer are assured, thereby maintaining an ambient and acceptable indoor temperature.

3.5.2 Configuration 2

Figure 3-10 illustrates a comparison of the monthly air conditioning/heating loads for a building with configuration 2, which integrates a type 1 vault that covers a roof area of 98.44 m² in the roof of the STANDARD building with the energy loads of the STANDARD building. This vault integration depends on the objectives of the research and represents a 28.00% vault slab roofing rate.

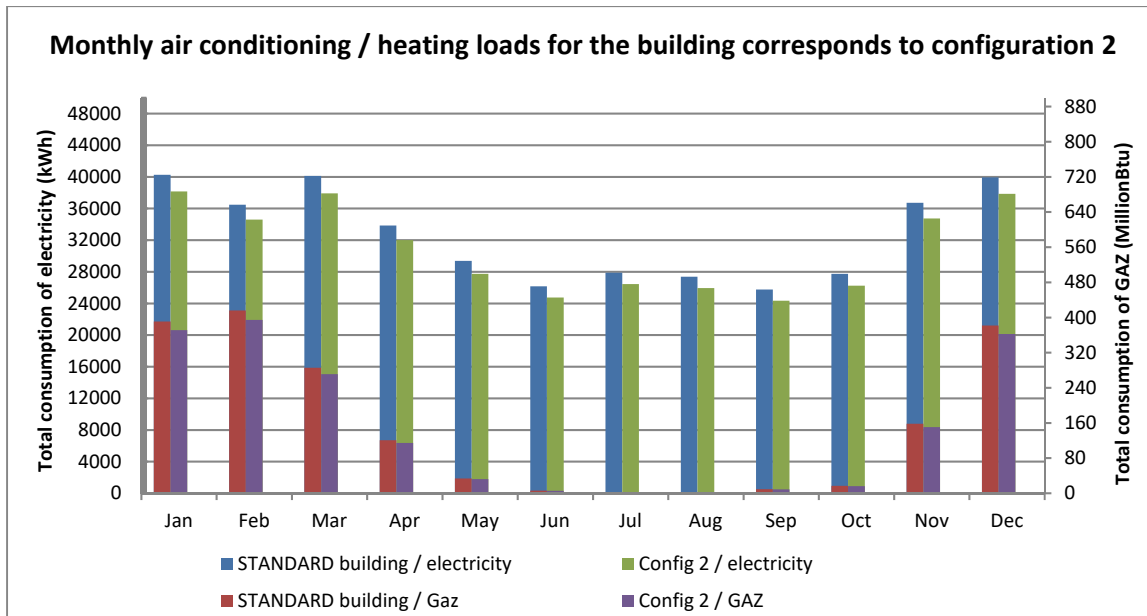


Figure 3-10: Monthly air conditioning/heating for configuration 2 building (type-1 vault) compared to those of the STANDARD building

The results of the monthly simulation of this configuration 2 building illustrate that the cooling energy requirements during the hot season, from May to October, range from 27725.73 kWh to 26244.91 kWh, and the heating requirements during the cold season, from November to April, range from 150.32 Million Btu to 114.54 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 370631.93 kWh and the total annual heating load is: 1726.79 Million Btu. The simulation results for the cooling energy requirements during the hot season of the STANDARD building vary between 29364.52 kWh and 27735.79 kWh, and the heating requirements of the STANDARD building during the cold season vary between 158.05 Million Btu and 120.65 Million Btu. The annual total load of the STANDARD building in air conditioning is: 391591.19 kWh and the total annual heating load is 1818.62 Million Btu.

The integration of a vault into the STANDARD building allows for more natural ventilation in the upper space, making indoor temperatures more ambient during the summer period. A vault also promotes the transfer of heat more effectively between different spaces inside the building during the winter period. This explains that the energy ratio of the building resulting

from the configuration 2 is: 110.78 kWh/year/m³, whereas the energy ratio of the STANDARD building (SB) is: 118.39 kWh/year/m³. Either a reduction in energy ratio of the building of 6.42% compared to the STANDARD building (SB). This integration of a vault device provides resistance to heat flow and is a possible response to the problems of roof protection against heat gain and it enhances the durability of the building envelope. Adding a vault clearly results in the realization of energy savings.

3.5.3 Configuration 3

Figure 3-11 shows a comparison of the monthly air conditioning/heating loads for a building with configuration 3, which corresponds to the integration of a mezzanine as well as the incorporation of a type 1 vault into a STANDARD building, with the energy loads of the STANDARD building. The results of the monthly simulation show the cooling energy requirements of this building 3 configuration during the hot season, from May to October, range from 23119.12 kWh to 21857.92 kWh and indicate that its heating requirements during the cold season, from November to April, vary between 138.42 Million Btu and 105.24 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 311129.80 kWh and the total annual heating load is: 1570.94 Million Btu. For comparison, the simulation of the cooling energy requirements during the hot season for the STANDARD building vary between 29364.52 kWh and 27735.79 kWh, and its heating needs during the cold season , vary between 158.05 Million Btu and 120.65 Million Btu. The annual total load of the STANDARD building for air conditioning is 391591.19 kWh and the total annual heating load is 1818.62 Million Btu.

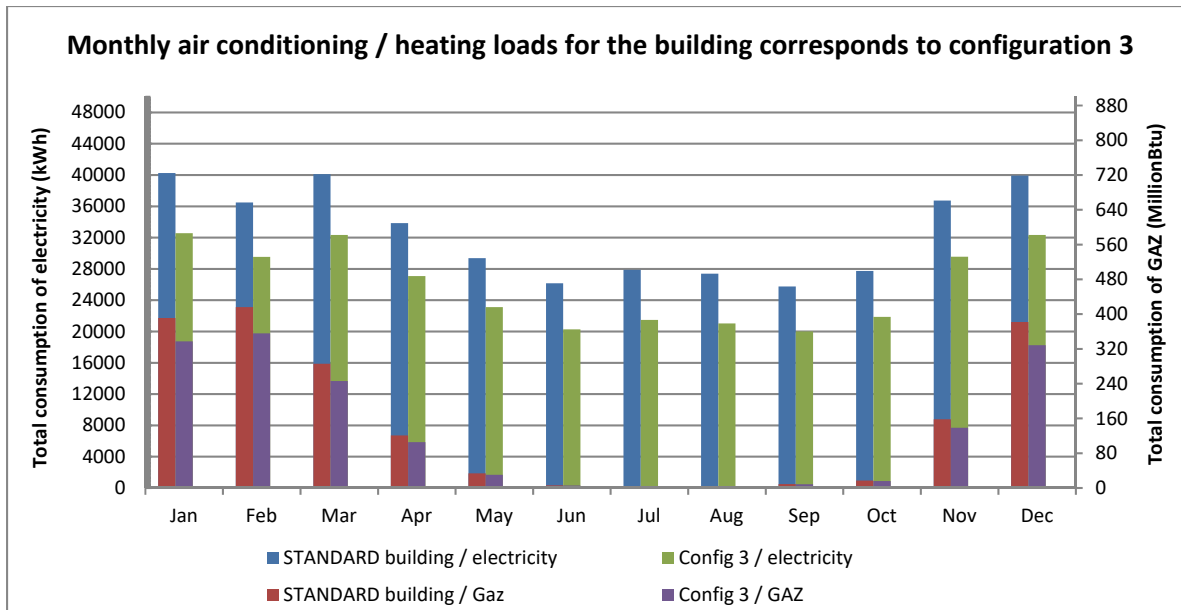


Figure 3-11: The monthly air conditioning/heating for the configuration 3 building (integration of a mezzanine and a type-1 vault) compared to those of the STANDARD building

Combining the integration of a mezzanine with the integration of a type 1 vault, as described in the realization loop of the conceptual process relating to the thermal ambience, causes the strategies and devices to interact. This interaction results in the realization of additional energy savings by reducing either the need for cooling or the need for heating. This association of mezzanine and vault relies on the absolute adoption of traditional and vernacular solutions by addressing the issues of energy performance in the habitat and the comfort of the occupant, reflecting a heritable approach. This explains that the energy ratio of the building resulting from the configuration 3 is: $94.07 \text{ kWh/year/m}^3$, whereas the energy ratio of the STANDARD building (SB) is: $118.39 \text{ kWh/year/m}^3$. Either a reduction in energy ratio of the building of 20.54% compared to the STANDARD building (SB).

3.5.4 Configuration 4

Figure 3-12 shows a comparison of the monthly air conditioning/heating loads for a building with configuration 4, which corresponds to the integration of a type 2 vault that covers a roof area of 144.21 m^2 , with the energy loads of the STANDARD building. This integration of the

vault represents a vaulted slab coverage rate of 40.00%. The results of the monthly simulation indicate that the cooling energy requirements of this building during the hot season, from May to October, vary between 27047.63 kWh and 25602.58 kWh, and the heating needs during the cold season, from November to April, vary between 147.57 Million Btu and 112.44 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 361491.09 kWh and the total annual heating load is 1692.95 Million Btu. For the STANDARD building, the results of the simulation of cooling energy requirements during the hot season vary between 29364.52 kWh and 27735.79 kWh and the heating requirements during the cold season vary between 158.05 Million Btu and 120.65 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 391591.19 kWh and the total annual heating load is: 1818.62 Million Btu for the Standard building.

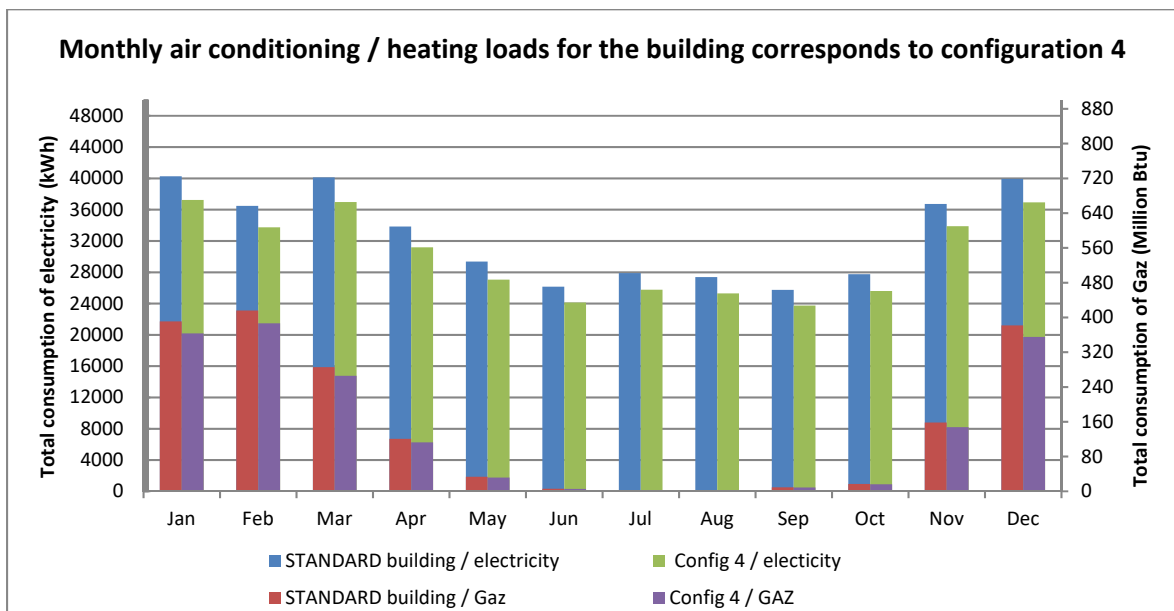


Figure 3-12: Monthly air conditioning/heating for the configuration 4 building (type-2 vault) compared to those of the STANDARD building

The valorisation of type 1 vault integration has a positive effect on the thermal ambience inside the building in combination with the integration of a type 2 vault as described in the realization loop of the relative conceptual process. The interaction of strategies and devices allowed to determine the effect of this integration of vaults. The thermal ambience is directly affected by these interactions between these integrations and the mechanisms of adaptation

that can be represented by this proposed loop. This explains that the energy ratio of the building resulting from the configuration 4 is: 106.00 kWh/year/m³, whereas the energy ratio of the STANDARD building (SB) is: 118.39 kWh/year/m³. Either a reduction in energy ratio of the building of 10.46% compared to the STANDARD building (SB).

3.5.5 Configuration 5

Figure 3-13 shows the monthly heating/cooling loads for the building with configuration 5; the integration of a mezzanine with a type 2 vault compared to the energy performance of the STANDARD building. The results of the monthly simulation illustrate that the cooling energy requirements of this configuration 5 building during the hot season, from May to October, range from 23051.91 kWh to 21783.35 kWh, and the heating needs during the cold season, from November to April, vary between 137.43 Million Btu and 104.43 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 309943.15 kWh and the total annual heating load is 1560.06 Million Btu. Meanwhile, the simulation results of the energy requirements of the STANDARD building for cooling during the hot season vary between 29364.52 kWh and 27735.79 kWh and it's the heating requirements during the cold season range between 158.05 Million Btu and 120.65 Million Btu. The total annual energy load of the STANDARD building for air conditioning is 391591.19 kWh and the total annual heating load is: 1818.62 Million Btu.

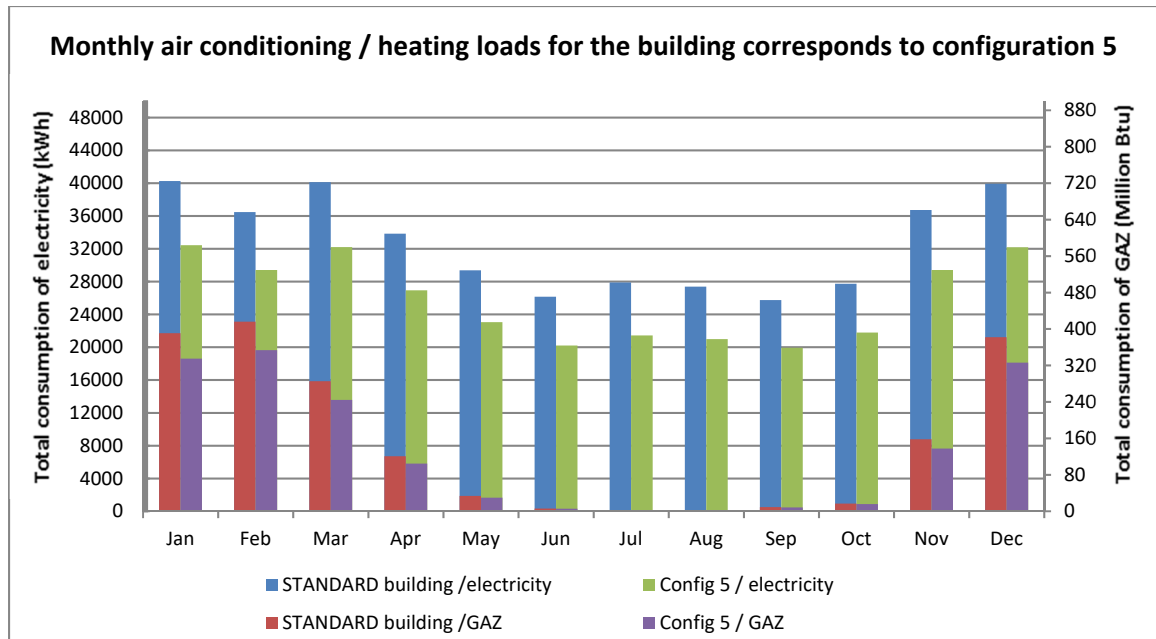


Figure 3-13: Monthly air conditioning/heating for the integration 5 of both a mezzanine and a type-2 vault, compared to those of the Standard Building



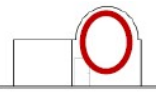
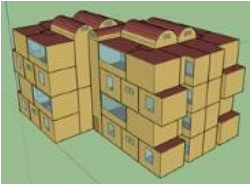


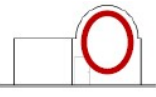
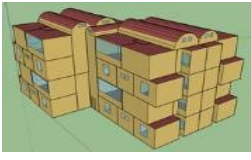
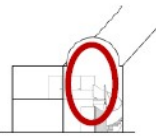

As described in the realization loop of the conceptual process relating to the thermal ambience case of interaction of the strategies and devices in, the integration of both a mezzanine and a vault which is carried out in both configurations 3 and 5 corresponds to an anticipated action which has generated a result in the satisfaction of comfort needs in terms of air conditioning and heating. The valorisation of the type1 and type 2 vaults, allows to determine the effect of this integration in combination with the thermal ambience. From the results presented in the preceding subsections the configurations that combined a mezzanine with vaults of type 1 and type 2 contributed the most towards lowered energy needs to achieve thermal ambience. This explains that the energy ratio of the building resulting from the configuration 5 is: $93.71 \text{ kWh/year/m}^3$, whereas the energy ratio of the STANDARD building (SB) is: $118.39 \text{ kWh/year/m}^3$. Either a reduction in energy ratio of the building of 20.84% compared to the STANDARD building (SB).

3.5.6 Synthesis

Each of the five configurations incorporating devices alone or in combination resulted in improved energy performances as illustrates in Table 3-5, with the mezzanine having a notably larger impact on the cooling needs. When more than one device was incorporated, the resulting savings were more than a simple addition of the individual savings from each device utilized separately, revealing that the effect of one device impacts the effect of another -as proposed in this research.

In architecture, designing a building corresponds to solving a problem that - unlike exact sciences - does not have a single solution (Conan, 1990). This aspect is part of what makes architecture both an art and a science. Therefore, there is no single solution for the energy problem in the design of a building. An architect or building designer does not create building plans for himself, but for the occupant(s) who will use the building (P.-Y. Kuo & J.-C. Fu, 2012). The implementation of established conceptual processes makes it possible to realize residential buildings with lower energy needs, even in more extreme climates, while meeting both the cooling and heating requirements that ensure habitants' comfort.

Table 3-5: Results of the annual air-conditioning/heating loads for all 5 configurations and the percentage ratio reduction of their energy savings compared to the Standard building's energy needs

Name of devise	Image/Photo	Representation under model ^{a,b}	Air conditioning		Heating		% ratio reduction compared to the STANDARD building
			kWh/yr	kW (peak)	kWh/yr	kW (peak)	
Mezzanine			313058.72	32839.65	1691.68	380.11	20.04 %
vault type 1			370631.93	38153.68	1726.79	394.44	6.42 %
Combination of Mezzanine / vault type 1			311129.80	32563.43	1570.94	355.69	20.54 %
vault type 2			361491.09	37225.40	1692.95	386.47	10.46 %
Combinaison Mezzanine / vault type 2			309943.15	32426.52	1560.06	353.30	20.84 %

3.6 Conclusion

This research has provided insights into the application of architectural design methodology in terms of integrating vernacular systems and strategies in collective housing in arid zones, linking energy efficiency and comfort in planning conceptual strategies.

The results of this study demonstrate that at each integration step, incorporating devices into a building is a relevant solution, a process that allows a collection of devices to constitute itself as a group. In this process, the behavior of each device becomes a stimulus for another device. This collection of devices and strategies, here in the form of the integration of a mezzanine with a type-2 vault, resulted in a 20.84% reduction in the energy ratio compared the Standard building.

With the development of this methodology, the arid zone building designer will have many applications in the field of housing design with which to assess the energy quality of vernacular devices to be integrated into habitats and to measure their performance in the early stages of design.

Similarly, the exploration of these processes as proposed here, and the feedback from the optimized exploitation of vernacular strategies and devices will also enrich the design phase of new construction in order to better incorporate human management mechanisms.

CHAPITRE 4

ARTICLE 3: PASSIVE AMBIENT CONFORT AND CORRELATION OF STRATEGIES AND VERNACULAR DEVICES FOR HABITAT DESIGN IN ARID ZONES: THE CASE OF BISKRA, ALGERIA

Belkacem Berghout * and Daniel Forgues
Department of Construction Engineering,
École de Technologie Supérieure, Montréal (QC),
University of Quebec, H3C 1K3, Canada
This chapter has been published on April 17, 2019, in
Buildings 2019, 9, 87; doi: 10.3390/buildings9040087

Abstract: Current concerns focus on the need to reduce energy consumption in construction and over the lifespan of buildings. A major objective is to create affordable housing. However, reducing the energy needs of the present without harming the needs of future generations remains difficult to put into practice, especially at the level of habitats in arid zones. In this research, a housing design assistance process for building designers is proposed, with the aim of converging towards a global optimum for the correlation and integration of vernacular devices and strategies in an optimized way. This will allow the integration of energy performance indicators and user comfort, in order to ultimately optimize, for this case study, the morphogenesis of residential buildings based on the morphological structure of a proposed building in Biskra, Algeria. This last developed process is articulated on various combinations distinguished for the case of the integration of devices and strategies, which allow maximum energy saving while ensuring the comfort of the occupants. As part of this research, this integration constituted a major challenge and made it possible to achieve a reduction in energy ratio of up to 25.11% compared to the standard building and the objectives of the research.

Keywords: conceptual process; morphogenesis; vernacular strategy; vernacular devices; energetic performance; comfort

4.1 Introduction

Creating comfortable living spaces by accounting for the local climate is at the heart of the architecture/environmental dialogue (Krishan, 2001). However, global energy needs have been growing at about 1.6% per year over the last two decades; even more for developing countries, whose growth is well over 3% (IEA, 2018). Moreover, the satisfaction of this growth in energy needs is still being met by fossil resources (Girardet, 2008). Indeed, carbon dioxide from the use of fossil fuels accounts for more than half of the anthropogenic greenhouse gas emissions (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018). While these fossil resources are becoming increasingly scarce, proven reserves still leave a margin of about fifty years for oil and gas and more than a hundred years for coal (Energy economic, 2018). Behind this observation, the energy issues of the twenty-first century have important environmental, and therefore human, consequences.

The situation in arid zones is unique because its climate is of an extreme character, where the thermal comfort of its inhabitants requires a match between construction, climate, and immediate environment. Contemporary buildings often compete with traditional designs in terms of their high technical requirements in their design and construction to achieve energy performance optimization (Mitra & Sanaz, 2014). Meanwhile, the march of climate change promises to only exacerbate the extreme temperatures in arid zones.

In the residential building sector, professionals will have to reconsider their design processes to reorient them towards more sustainable and reliable development models (Østergård et al., 2016). They will have to ensure that the impact of this shelter on the environment is minimized. To this extent, the environmental aspect of housing in arid zones has become unavoidable and constitutes a major energy issue, as the building sector holds one of the top energy consumption positions and is thus one of the major contributors to greenhouse gas emissions (Beguin, 2011). While the architecture field has not always been amenable to these techniques, a variety of automated optimization options are now available, including genetic algorithms and evolutionary algorithms. These could contribute to a research space for

discovering architecture design alternatives that meet specific criteria (Toutou, Fikry, & Mohamed, 2018).

This reflection leads us to ask a key research question: to what extent could the correlation of vernacular strategies and devices in habitat design influence passive ambient comfort in arid zones? To answer this question, a methodology for optimizing these vernacular devices has gained a privileged place in the design process, with the objective of converging towards a global optimum. The present article covers the correlation of strategies and devices into the design of arid zone housing, in order to adapt the vernacular conceptual solutions in their entirety into the current habitat design practice and to measure the consequences of their integration in a simulated building on occupants' thermal comfort and on that building's energy consumption. Following this model, today's habitat could more easily take advantage of vernacular architecture, both in terms of interior comfort and energy savings. Ideally, building designers will see the value of incorporating the concept that sustainability is a synonym of vernacular architecture.

The objectives of this research are those adopted in Paris in 2015 as part of the international strategy to reduce greenhouse gas emissions. In order to mitigate climate change, the Algerian government has planned to reduce its national energy consumption by 16% by 2020 (Agence pour la promotion de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie [APRUE], 2014); (Ministère de l'énergie et des mines [MDEDM], 2009). The associated goal in the residential building sectors is to reduce or even eliminate energy consumption from cooling and heating. In Biskra, the city under study, the cooling period lasts an average of seven months (from the beginning of April until the end of October). To achieve this goal, building design is of paramount importance. One of the key issues for designers, morphogenesis (the creation and evolution of forms, development) in the design of habitats, is utilized as a strategy of energy savings in a case study.

The article is structured in six main sections. The first section introduces the topic and states the goals. The trends in sustainability within vernacular architecture are described in the

second section. The third section presents the development of the methodology. The case study and the results of a bioclimatic analysis of the city under study are introduced in the fourth section, along with a presentation of the building object of the study. The fourth section also shows how to integrate and optimize the various types of vernacular devices and strategies developed for building design, based on the results of the bioclimatic analysis and taking into account both the energy aspects and occupants' comfort. The fifth section provides the results of four configurations associated with the design of the standard building and discusses their analysis. The thermal performance of passive techniques, integrated as much as possible upstream of a residential block design in the city of Biskra, Algeria, is evaluated by dynamic simulation using EnergyPlus™ software. The passive technique studied here is morphogenesis (the creation and evolution of forms and their progressive development) in habitat design. A vast number of vernacular strategies and devices can be combined with this technique in our case study, including the optimized layout and dimensioning of buildings in the design of a residential block, corbelling at the design level as protection against summer overheating, incorporating a patio as access to direct sunlight, and galleries around said patio. Finally, the sixth section offers a conclusion that illustrates and synthesizes the results obtained and provides perspectives for future research.

4.2 Sustainability Trends in Vernacular Architecture

Within an arid southern setting, a building's envelope has to be permeable to air and closed to the sun, contrary to the northern regions, where the envelope must be impermeable to air and open towards the sun (Ravéreau & al, 2007). Many technical and technological advances have contributed to the energy performance of building envelopes in northern regions, helping to make them airtight and open to the sun. Advanced glass panels have been developed to meet this dual objective of thermal and luminous comfort. Transparent insulators are very thermally efficient and allow light inside. Prisms and mirrored shutters are also used, as well as holograms for high-tech brightness control (Schittich, 2003; Thomas., Rolant., & Werner, 2007). In addition, new technologies (such as home automation, photovoltaic panels, etc.), facades and adjustable awnings have become more complex and

require the support of more and more technical devices. These contribute to active building strategies, both in the intelligent management of external inputs and in the conservation and production of energy (Michael. & Jude, 2000).

At the methodological level, the literature offers many approaches. Most of these focus on improving the energy efficiency of buildings in urban areas. Within this framework, (Maïzia, 2007; J. L. Izard, 2015) focused on the morphological typological analysis of buildings and their impact on energy consumption (often limited to heating consumption). Similarly, (Pacheco., Ordoñez., & Martinez, 2012) identified design criteria that can reduce the energy demand for the heating and cooling of residential buildings. These criteria are based on the adoption of appropriate parameters for building orientation, shape, envelope insulation systems, passive heating and cooling mechanisms, shading and glazing. Consequently, the energy performance of a residential habitat depends on its design and location (Ajaj. A & F., 2014; Virgilio Ciancio et al., 2018a). This conception strongly depends on a building's immediate environment and its built form-in other words, the position of the sun at different times of the day and time of year and the geometry of a built context (Zhai & Previtali, 2010; Morello & Ratti, 2009).

In arid zones, the integration of these last parameters of solar exposure in the morphogenesis of built habitat has been observed in the practices of vernacular architecture as well as in more recent studies on access to direct sunlight (Rana et al., 2015) In general, bright surfaces absorb lower rates of radiation and are less likely to preserve the daytime temperature (Haseh, Khakzand, & Ojaghrou, 2018). However, despite the rise and acknowledgment of this vernacular architecture, the proliferation of contemporary conceptual solutions applied to residential design in arid zones has not led to the development of energy-efficient habitats (Alalouch et al., 2016; Farzaneh, Mehdi, & Wenyi, 2017) The main challenge of these so-called vernacular approaches has been to ensure user comfort by providing energy in a passive manner to reduce the negative effects on the natural environment (Mitra & Sanaz, 2014; Sibley, 2018). These latest vernacular approaches can be generalized in all cases with similar climatic conditions to reduce energy consumption (Sibley, 2018). Recent studies for

sustainable architecture emphasize the richness and relevance of this vernacular architecture, as shown in Figure 4-1. In addition, these studies reveal that the principles and values to which sustainable architecture has given importance are privileged features of this vernacular architecture.

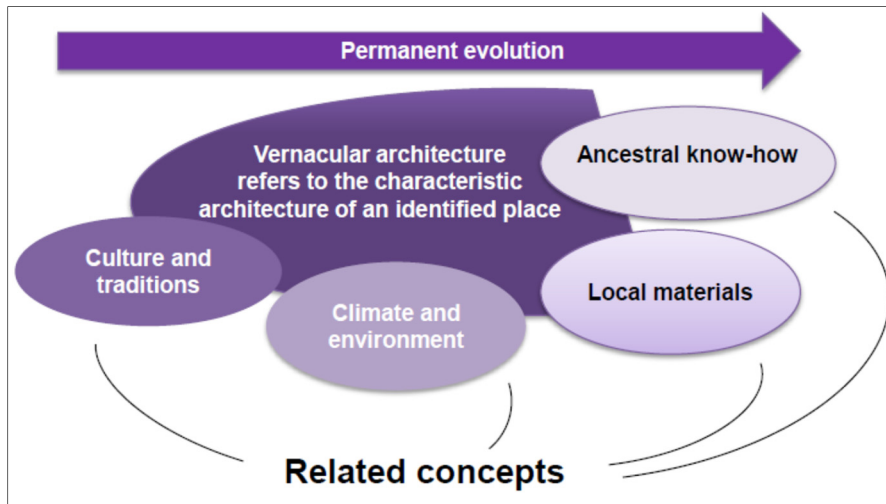


Figure 4-1: An illustration of notions associated with the vernacular building concept. Source: (Beguin, 2011)

Vernacular architectural practices can be adopted in building designs to improve energy efficiency in accordance with the local climate (Wardah, Yusoff, & Mohd, 2017), which highlights the importance of simulation before project construction (Nabonia Emanuele, Antonio Malcangia, Yi Zhangb, & Furio Barzonc, 2015). Hence, the development of "design aid" tools is a crucial step, as it allows the impact of designers' choices on energy performance to be evaluated without imposing a specific concept or technology on the energy efficiency designer (Wardah et al., 2017). To this extent, the role of design support tools is clearly justified (Morello & Ratti, 2009; Haseh et al., 2018), and these tools will certainly need to be integrated into the designer's new design modes (Attia et al., 2009). Access to these tools may help to evolve architectural practice to incorporate certain characteristics, including energy use (Mahsa, Mohammad, D.P.L.Gb, Pejman, & Damoon, 2011), and thereby to synthesize large amounts of information for the designer, as it is during the early design phase that the choices determining the energy and environmental

performance of a building are made (Mendler Sandra & Odell William, 2001; Miles, Sisk, & Moore, 2011). These choices represent the optimal morphogenesis of a building. This incorporation of design tools will be accomplished through new design technologies.

It is worth noting that the building design tools developed in colder regions, capable of anticipating their expected energy-related issues, are not yet fully adapted to the design of residential buildings in arid zones (Alalouch et al., 2016). Indeed, there may be relatively new or innovative construction techniques for arid zones that are not yet integrated into the tools for design assistance developed in cold regions.

4.3 Methodology

This present research is centered on the correlated integration of vernacular devices and strategies from the earliest design phase. This approach will allow the creation, evolution, and development of innovative habitat options, integrating energy performance indicators and user comfort based on the morphological structure of a proposed building. The input of multiple building trade professionals (architects, engineers, and consulting firms) will be integrated to ensure optimal energy efficiency. The research methodology is in two phases.

The first phase is to perform a bioclimatic analysis, whose objective is to:

- Determine the role that vernacular devices and strategies can play in relation to the research question; and
- Propose an original study framework that integrates the criteria and important characteristics identified during this bioclimatic analysis as cofactors (indicators) that will affect the energy performance of future habitat within the area in question. The conclusions that follow this bioclimatic analysis will be considered as a database for the second stage, whose objective is to propose architectural recommendations that aim to make today's housing design closer to the local economy.

A major advantage of this phase is that it directly incorporates the energy balance of different integrations of devices and vernacular strategies into the design of the habitat to assess their impact, allowing designers to validate their conclusions. The software (EnergyPlus™) makes it possible to evaluate the impact of these different configurations, allowing the designers to validate their conclusions (DOEa; DOEb; DOEc; DOEd). These vernacular building integrations play the role of dampers on temperature variations and contribute to stability, in addition to reducing the need for air conditioning and heating.

4.3.1 Case Study Process Development

The housing design assistance process elaborated in this research links a large number of devices and strategies resulting from a bioclimatic analysis of the city of Biskra, Algeria, and offers designers multiple options at various stages in the design process. Having a multitude of options is part of what has made architecture both an art and a science. This design process allows the integration of the predicted energy components into a habitat's design, allowing the simultaneous resolution of energy and architectural issues. The evolution of parametric design tools will allow the integration of energy data, making it possible to synthesize large amounts of information as well as to represent the optimal morphogenesis of a habitat.

Figure 4-2 describes the process in question. It is a loop that allows the designer to make the decision to correlate the integration of devices and strategies, as it indicates the reciprocal relationships between devices and strategies, strategies and strategies, or devices and devices. These relationships make it possible to identify the degree of connection between the variables. In particular, this process allows the behavior of a device or a strategy to be modeled when evaluating a situation of occupant discomfort and/or when assessing the level of energy consumption.

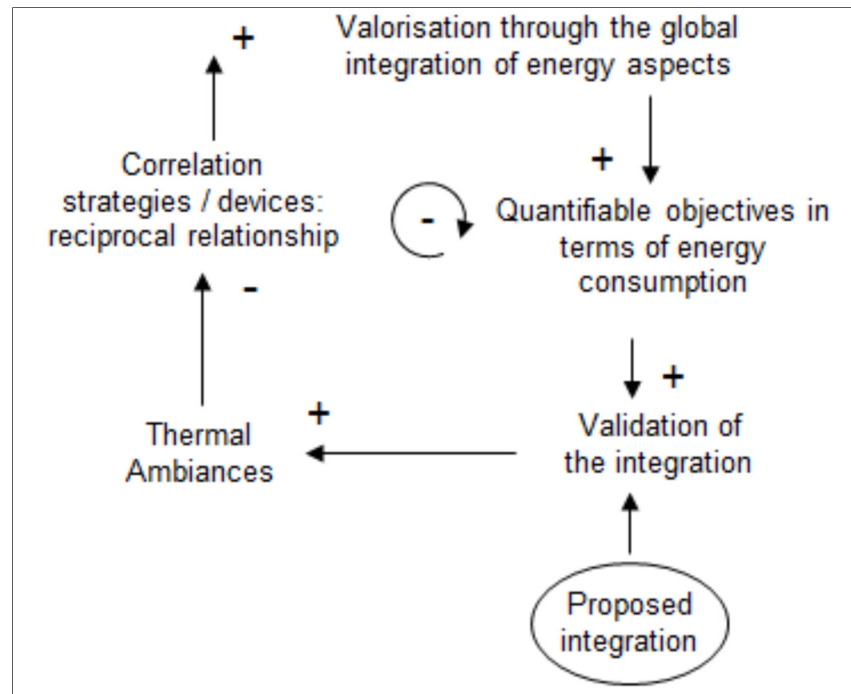


Figure 4-2: The realization loop of the conceptual process relating to the thermal comfort: Case correlation of strategies and devices

The goal is to achieve thermal comfort conditions by integrating passive solutions, and to do so in the most efficient way possible. When the ambient temperature is found to be lower or higher than what is considered a normal comfort level, the designer is called upon to improve their design by integrating other device(s) to the initially planned device(s) or strategy(s) to obtain more satisfactory thermal conditions (gratification), according to their choice of the most appropriate architectural devices. To characterize the satisfaction of air conditioning and heating needs in our study on thermal comfort, we used a thermal environment variable; the correlation of strategies/devices will be the motive for any integrating action or integration valuation.

The basic principle behind this process is that air conditioning and artificial heating must only be used as a last resort. To realistically apply this principle, the identification of the strategic design phases described in this process allows the designer to not only anticipate energy issues without imposing a specific concept or technology, it also promotes the concept of quality, especially with regard to comfort parameters, and does so from the first

design phase. In the same way, the energy stakes are translated into quantifiable objectives in terms of energy consumption, thus conveying an understanding of the design of a building as a whole, in concordance with its environment. The conceptual strategies are then integrated with all the innovative systems and technologies in the techniques and styles of contemporary architectural design, as stated in the description of the second phase of our methodology.

4.4 The Case Study

Our case study is the city of Biskra, located in southeastern Algeria, at a latitude of $34^{\circ} 48'$ North and a longitude of $5^{\circ} 44'$ East. It rises to an altitude of 81 m. The average annual minimum external temperature is 16°C , and the maximum is 31°C . The choice of the city of Biskra as a case study is because the following characterizations:

- It is characterized by very intense solar radiation in summer, reaching a daily average of 5962 Wh/m^2 for an outside surface during the hottest month (in this case July). At the summer solstice, June 21st, the maximum solar irradiation is reached between 14:00 and 16:00 with a value of 790 Wh/m^2 , while at the winter solstice, December 21, the maximum solar irradiation is reached at 16:00 with a value of 450 Wh/m^2 for west-facing walls. For east-facing walls, at the summer solstice (June 21st) the solar irradiation varies between 500 Wh/m^2 and 790 Wh/m^2 from 6:00 to 8:00, while at the winter solstice (December 21st) the solar irradiation is 450 Wh/m^2 for the whole day; this maximum value is reached between 9:00 and 10:00. For south-facing walls, the solar irradiation at the summer solstice reaches its maximum between 11:00 and 13:00, with a value of 255 Wh/m^2 , while at the winter solstice the solar irradiation is at its maximum between 10:00 and 14:00, with a value of 750 Wh/m^2 (Berghout, 2012);
- Its excessive energy consumption for the sole purpose of air conditioning to keep occupants of homes and function in comfort during warm periods, knowing that it takes three to four times more energy to cool spaces than to heat them (Berghout, 2012).

4.4.1 Bioclimatic Analysis of the City of Biskra

The bioclimatic analysis conducted by (Berghout et al., 2014) revealed that user comfort not only depends on mechanical devices, but can be achieved with a good architectural design-which takes passive techniques into account-judicious choice of location, optimal orientation, and environmental climatic factors. Therefore, the application of passive strategies to arrive at a desired comfort is suggested, relying on purely architectural processes, and resort, in a reasonable way, to the active means. Also, (Berghout et al., 2014) concluded that these devices are essential to achieve comfort conditions in the building interior and the maintenance of ambient temperatures, especially during the months of July and August, which are the hottest of the year. With these appropriate architectural features that make the most of solar radiation and natural ventilation to reduce energy requirements, maintain ambient temperatures, control humidity, and promote natural lighting, occupant comfort could be improved to achieve a considerable gain in energy by relying on purely architectural devices.

For Buratti & Ricciardi this comfort of the user is a state of mind that expresses satisfaction with the thermal environment. The maintenance of the internal temperature of the human body at around 37 °C (ASHRAE) requires a thermal equilibrium with its environment. The results of research published to date, notably those of Gagge et al. and Gagge et al. (A.P.; Gagge, Stolwijk, & Hardy, 1967; A.P. Gagge, Cena, & J.A., 1981) in the United States, and (P.O. Fanger et al., 1985) in Denmark allow the selection of parameters that influence comfort-essentially, the speed and hygrometry of the air, the dry temperature, and the average radiant temperature. The work of (P.O. Fanger et al., 1985) on the thermal environment led to the implementation of ISO 7730 (J. F. Nicol & Humphreys., 2002; F. Nicol, 2004). To this analytical model we can cite other models, such as the model with two nodes of (A.P. Gagge et al., 1981) which introduces the parameters ET (new effective temperature), SET (standard effective temperature), and PMV (Predicted Mean Vote). Nevertheless, the generalization of the use of indices of the analytical comfort in certain

climates implies a systematic recourse to the air conditioning of the environments and induces exorbitant energy expenses.

An adaptive approach currently has many interests and reflections have been taken to include it in the current standards which are, for the moment, only based on the methods of the analytical approach. The adaptive method is developed in the standard of (ASHRAE, 2009). The adaptive comfort standard of (ASHRAE) recommends using this method only for naturally ventilated buildings.

4.4.2 Selecting the Building to be Analysed

The architectural design of the building under study is inspired by a typology of the most common type of residential buildings in Biskra, Algeria, realized during the 1980s, as shown in Figure 4-3. This typology differs from the building type addressed in the context of the case study cited in the introductory section, which addresses the issue of passive ambient comfort and the interaction of vernacular strategies and devices in the design of habitat in arid zones. Instead, these residential buildings were built without incorporating basic knowledge related to climatology, resident comfort, or the thermal behavior of building materials. This claim is at least partly justified by the fact that the same type of housing, with the same building materials, has been constructed in the North for many years, and subsequently in many places in the South as well (Berghout, 2012).



Figure 4-3: Residential buildings built in the 1980s

4.4.3 Thermal Study of the Building

Figure 4-4 illustrates the building covered in this study, referred to as the standard building (SB). This SB has a total floor area of 166 m², four levels, is oriented North-South, and has two dwellings per level.

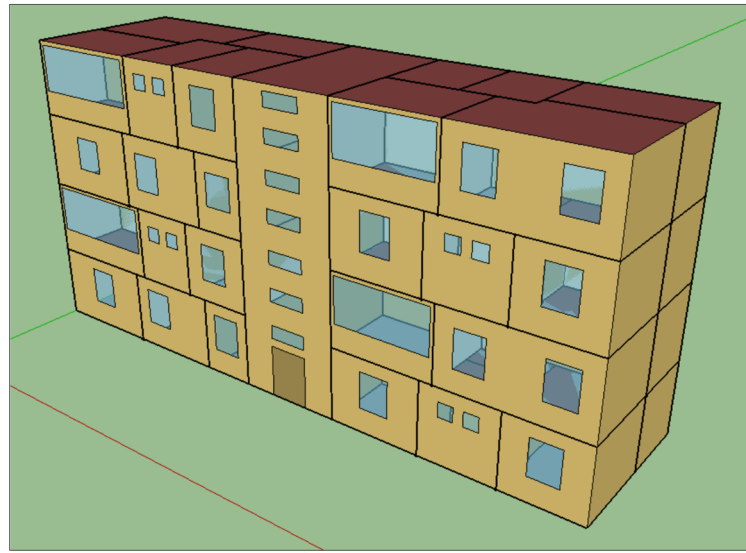


Figure 4-4: A schematic view of the studied building

The composition of the walls, the roof and the thermo-physical properties of these materials are listed in Table 4-1.

Table 4-1: Thermophysical Properties of the Building Materials of the standard Building

Materials	Thermal capacity (kJ/kg.K)	Thermal conductivity (W/m.K)	Density (kg/m ³)
Mortar	0.84	1.15	2000
Hourdis	0.65	0.96	1300
Reinforced concrete	0.92	1.75	2300
Coating	1.00	0.35	1500
Air blade	1.22	0.02	1.204
Brick	0.94	0.65	1.099

In this standard configuration, the exterior walls are composed of 2 cm of mortar, 12 cm of brick, 6 cm of air space, 8 cm of brick, and 2 cm of mortar. The internal walls have 2 cm of mortar on each brick face of 8 cm. The roof is composed of 16 cm blocks and a reinforced 5 cm thick concrete slab. These components refer to the building materials most commonly used in contemporary buildings in Biskra.

The convective exchange coefficients used for the simulation are annual average values. These quantities were determined using the correlations used by (EnergyPlus™, 2013) ("detailed convection algorithm"), as shown in the Table 4-2. The coefficients can be evaluated at each time step through correlations integrating the temperature differences between the considered surfaces and the air (EnergyPlus™, 2013).

Table 4-2: Convective exchange coefficients [W/(m²K) for the simulation

Low floor, element		Vertical wall		Glazed wall		Intermediate floor, element		High floor, element	
Interior 1.0	Exterior 1.3	Interior 1.1	Exterior 5.6	Interior 1.9	Exterior 3.6	Celeing 1.0	Closet 0.9	Interior 1.0	Exterior 2.4

4.4.4 Energy Behavior Simulation

The calculations made by (EnergyPlus™, 2013) were certified by the United States (US) Department of Energy (DOE; Deru et al., 2011) and by the Pacific Northwest National Laboratory (Goel et al., 2014), who conducted numerous calibrations and checks on the quality of the results. The building was modelled using SketchUp, designed to characterize its geometry. This geometry was subsequently provided thanks to the OpenStudio computer tool, where the physical parameters characteristic of the thermal zones were defined within the volume constructed. Subsequently, this file was imported into EnergyPlus, where all the parameters relating to the energy simulation of the building were defined. The characteristics of the envelope (e.g., dimensions, materials, and physical characteristics of the opaque and transparent surfaces of the building), of the present systems were then defined. The simulations were performed with the climate files of Biskra's annual weather (typical

meteorological year by Meteonorm-TMY) available for input. The hourly energy performance of the studied building was analyzed and plotted monthly for the entire year. These data took into account the characteristics of the plants and their energy efficiency (summer cooling was simulated using direct expansion factor 3.1 split systems. The annual heating requirements were simulated with housing radiators obtained from a natural gas fired boiler, heat output 15 KW and a 100% efficiency), therefore the outputs represent the energy requirements of the entire “building/plant envelope” system.

The analysis of the energy needs of a building (due to heating and cooling) is the basis for the optimization processes of consumption in the residential building sector (Virgilio Ciancio et al., 2018a).

The devices that can be integrated into the standard building design were modeled and manipulated using SketchUp. With each integration or modification of these parameters, the EnergyPlus™ input file was instantly updated with the new values. The annual thermal behavior of this building was simulated by the multizone model. The building was divided into three zones. The right zone was considered the first zone, encompassing eight housing units, the left zone was considered the second zone, encompassing eight housing units, and the central zone was considered the third zone, encompassing the stairwell and circulation hall.

The same thermal simulation scenario was then applied to model the standard building with four different configurations. Configuration (Hachem & Athienitis) corresponded to the optimized layout and dimensioning of the buildings in a residential block, and configuration (Hachem & Athienitis) corresponded to the installation of corbelling at the roof edge as protection against summer overheating. The third (Hachem & Athienitis) and the fourth (Hachem & Athienitis) configurations corresponded to the integration of a courtyard for access to direct sunlight, and galleries (for air and shade) around that courtyard, respectively. The boundary conditions data (Gali & Yilmaz, 2012) used in the energy analysis are summarized in Table 4-3. A Weather Research and Forecasting (WRF) model (Virgilio

Ciancio et al., 2018a) was used to determine the temperature given in Table 4-3 (heating and cooling set-points).

Table 4-3: EnergyPlus boundary condition data for the case study's building

Assumptions retained	Unit	Value
Heating set-point	°C	20
Cooling set-point	°C	26
Sensible heat gain from people	W.person ⁻¹	70
Latent heat gain from people	W.person ⁻¹	45
Air change rate (volume per hour)	m ³ .h ⁻¹	0.5

4.5 Results and Discussion

The objective of this study was to evaluate the impact of the integrated building strategies on cooling and heating needs, and so the monthly and annual cooling and heating loads of the four building configurations and their ratio to the standard building's monthly and annual energy loads are compared.

4.5.1 Configuration 1

As described in the realization loop of the conceptual process in Figure 2, configuration 1 corresponds to the case of one of the essential questions for designers: morphogenesis (the creation and evolution of forms, the progressive development) in the design of the habitat of the reference building. The optimized layout and dimensioning, as shown in Figure 4-5, provide some resistance to the variations in the climate of the study area (as compared to the schematic of the standard residential block in Figure 4-5). This type of residential block constitutes the main structural character of the urban fabric in arid and semi-arid zones of North Africa, and this optimized format is formed merely by a successive densification of the building according to the layout of its passageways, allowing it to adapt to its external environment. In addition to exchanges with the outside air temperature, the thermal balance

is also modified by incoming solar inputs and the heat released by occupants and equipment (which were not considered in our simulation).

The parameters involved in configuration 1 are all of the morphogenesis type, integrating the energy performance and density indicators (study of the forms and the external structure of the envelopes) with the aim of minimizing losses through the envelope and maximizing free contributions.

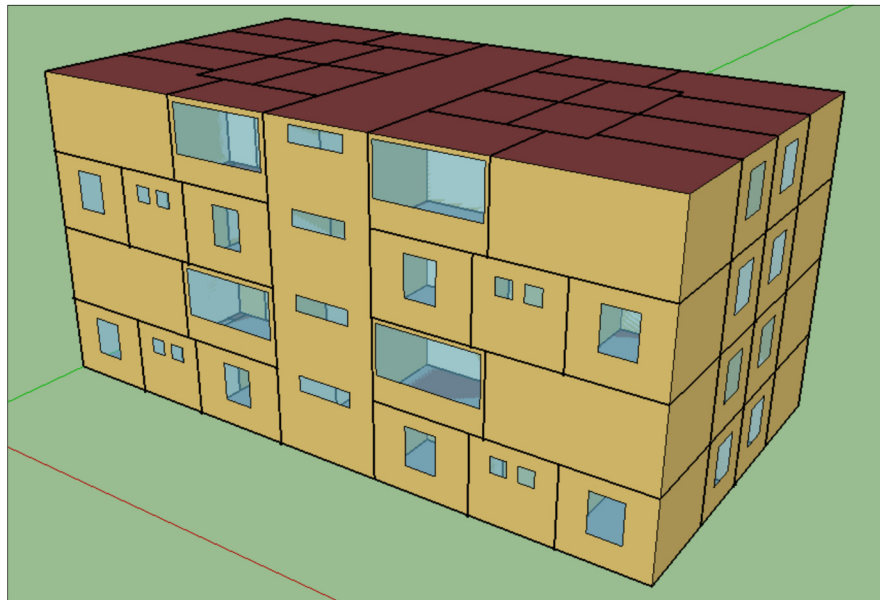


Figure 4-5: A view of the building corresponding to configuration 1

The standard building (SB) (Figure 4-5) is less compact than that of configuration 1 (Figure 5); its external facades are larger than those of configuration 1, and so its heat losses per unit of volume are greater. The choice of the shape of the apartments in configuration 1 and their the distribution in the layout both have a direct influence on the distribution of the solar radiation on the vertical walls and the roof and between the housing island itself and the ground. The influence of this radiation is primordial both for the inside and for the outside temperatures, and so the form and organization of homes within a residential block must always consider the solar conditions (which normally are considered before a building is constructed).

Figure 4-6 compares the monthly air conditioning/heating loads for configuration 1 with those of the standard building. The results of the monthly simulation illustrate that the cooling energy requirements for configuration building 1 during the hot season, from May to October, vary from 26168.63 to 24736.69 kWh and the heating requirements during the cold season, from November to April, range from 132.01 to 100.63 million Btu. The total annual charge for air conditioning is 347058.21 kWh and the total annual heating load is 1524.59 million Btu. For the standard building, the simulation results show that the cooling energy requirements during the hot season, from May to October, vary between 12379.49 and 11714.12 kWh, and the heating requirements during the cold season, from November to April, vary between 60.88 and 45.84 million Btu. The standard building's total annual charge for air conditioning is 166557.96 kWh and the total annual heating load is 705.34 Million Btu.

Three functions-regulate, protect, and capture-are associated with the energy and thermal functions of the envelope of a residential housing block. Configuration 1 is associated with two strategies: to reduce the radiation losses and to rationalize the distribution of heat in the internal spaces. It provides a sunscreen, that is to say, it prevents some of the solar radiation from entering the interior of the block in summer to avoid overheating. It also blocks convection and radiation exchanges and slows thermal transfers by conduction between the inside and the outside. This helps to maintain an indoor temperature in summer and winter while limiting the energy consumption of more active systems.

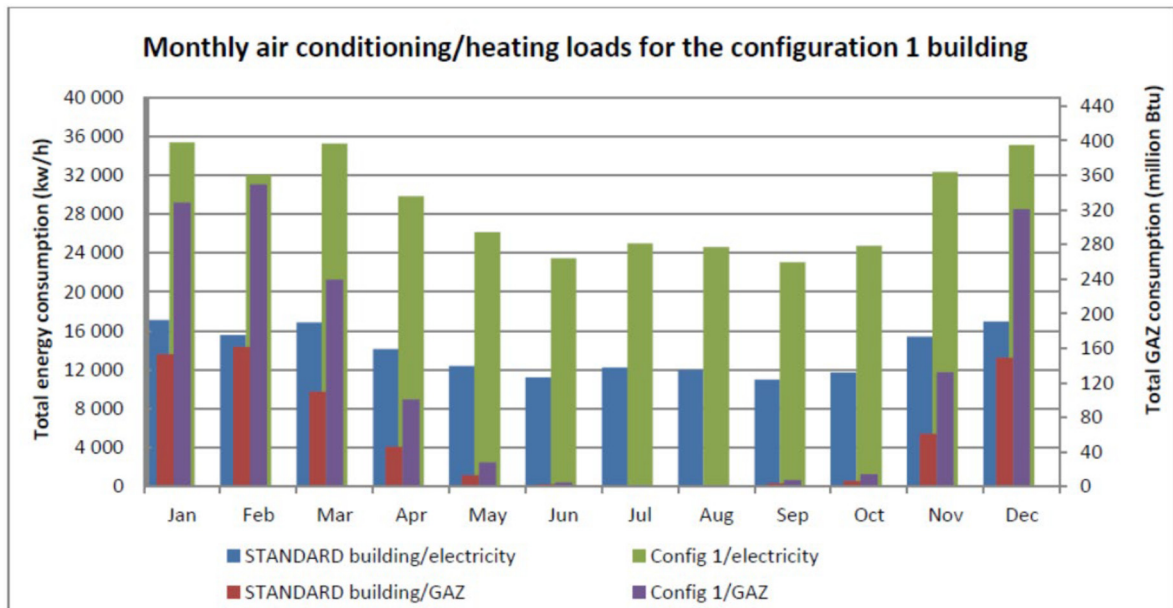


Figure 4-6: The monthly charges for air conditioning/heating for the configuration 1 building compared to those for the standard building

It is clear that configuration 1 achieved a reduction of the thermal loads and thus a reduced use of energy compared to those of the standard building (SB) designed with contemporary architectural practices in Biskra. The energy ratio of the configuration 1 residential block was $111.15 \text{ kWh/year/m}^3$, while the energy ratio of the standard building was $117.84 \text{ kWh/year/m}^3$, thus achieving a reduction in the energy of 5.67% compared to the standard building. While configuration 1 resulted in a reduction in the energy ratio of 5.67%, this is still lower than the target provided by the research, estimated at 16%.

Configuration 1 can still be enriched with a range of strategies and devices designed to be compatible with an arid climate. Their correlation will be assessed to best improve a building's energy efficiency.

4.5.2 Configuration 2

The challenge of arid zone building design lies in the control, exploitation, and management of energies. The energy evolution of a building occurs through its envelope. This is an interface between the inside and the outside, capable of protecting itself from extreme

weather conditions, regulating ambient temperatures, and integrating appropriate passive strategies. It is through this interface that the building interacts with its environment.

The very intense amounts of solar radiation energy received by a vertical surface can be mitigated by the shading effects caused by the integration of passive devices into building facades. To do this, passive devices are integrated into the West, East, and South facades of the residential island. Known as the "Kbou" in local vernacular, these are an outgrowth of the interior space towards the outside, as shown in Figure 4-7. This integration will reduce the intense solar radiation during the day at different months of the year. This type of integration, which is geometric in nature, introduces, through the process proposed in Section 3.1's case study process development, a reflection of the stratification of energy use and solar exposure in building design. Different types of integrations can take form, which is why evaluating the impact of this integration on cooling and heating needs is required in order to optimize a design's energy performance. An arrangement of these outgrowths is represented in configuration 2.

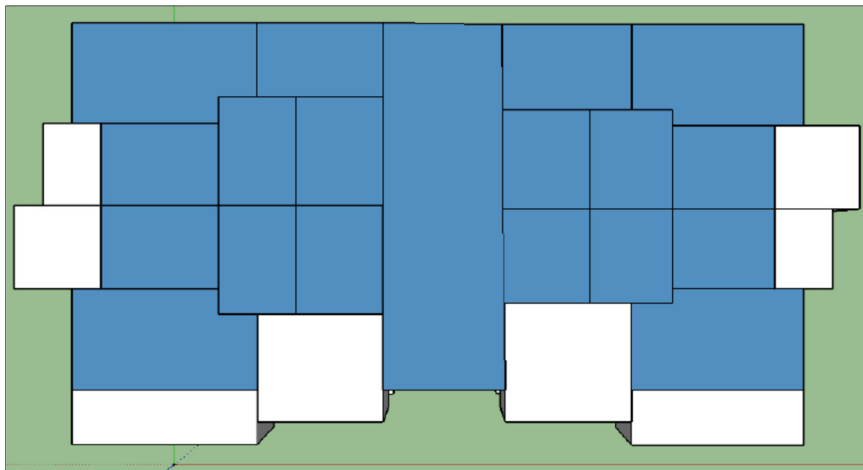


Figure 4-7: A view of the building corresponding to configuration 2

Figure 4-8 shows a comparison of the monthly charges of air conditioning/heating for the building corresponding to configuration 2 with those of the standard building. The results of the monthly simulations present the cooling energy requirements of the residential block of configuration 2 during the hot season, from May to October, which vary between 20952.83

kWh and 19821.33 kWh, and the heating requirements during the cold season, from November to April, which vary between 124.48 Million Btu and 94.70 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 275476.92 kWh and the total annual heating load is 1441.49 Million Btu for configuration 2. Meanwhile, the simulation results of the standard building show that the cooling energy requirements during the hot season, from May to October, vary between 12379.49 kWh and 11714.12 kWh, and the heating during the cold season, from November to April, vary between 60.88 million Btu and 45.84 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 166557.96 kWh and the total annual heating load is 705.34 Million Btu.

This last integration allowed intense solar radiation to be decreased during the day for different months of the year. This type of integration, which is geometric in nature, will introduce, through the process proposed in Section 3.1's case study process development, a reflection on the stratification of energy in the building design from which different integrations can take shape.

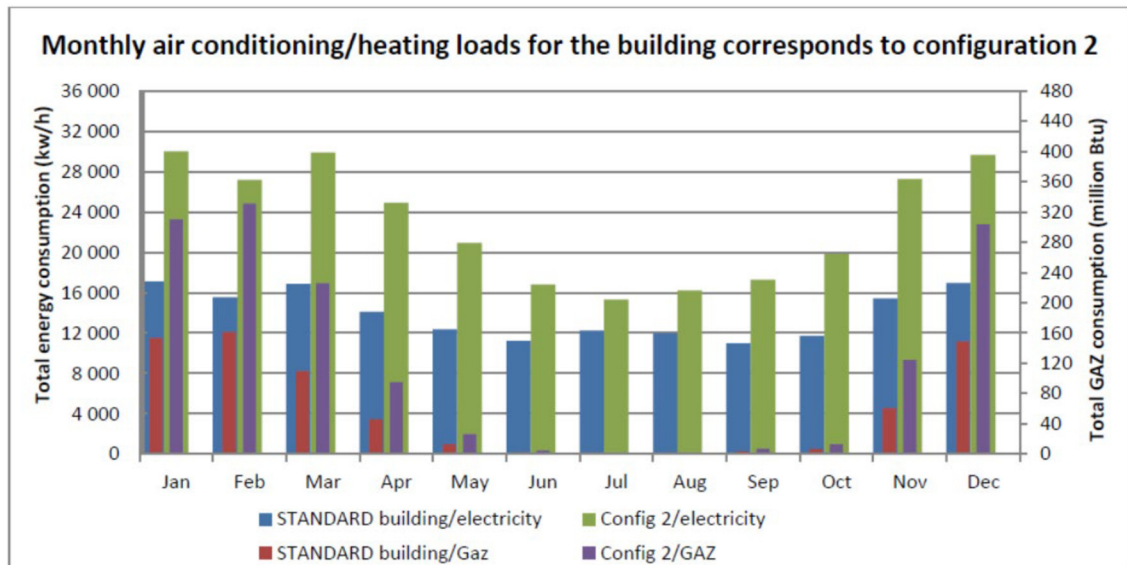


Figure 4-8: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal comfort for configuration 2 compared to the loads required for the standard building

The energy ratio of the residential block resulting from configuration 2 was 88.24 kWh/year/m³, whereas the energy ratio of the standard building (SB) was 117.84 kWh/year/m³. This is a reduction in the energy ratio of the residential block of 25.11% compared to that of the standard building (SB), surpassing the objective of the planned research's reduction of 16%.

4.5.3 Configuration 3

Other strategies and devices can add to the development of the first configuration, such as a patio, as shown in Figure 4-9. The patio for this residential block offers access to the sun itself where available, and solar radiation and its distribution in the different interior spaces. This consideration is intended to allow passive gains in heat (sunshine) and light (natural lighting) outside and inside the buildings that make up this block. More than just a void inscribed in a residential block in the manner of a residual space, the interior patio develops a real typology, it is most often pure volumetry and its skeleton as well as its shape develop another scale of the residential block. It is not a void, but a designed architecture. This creativity is itself subject to constraints related to external considerations, such as energy or light concerns, or to form. The incorporation of this patio represents configuration 3.

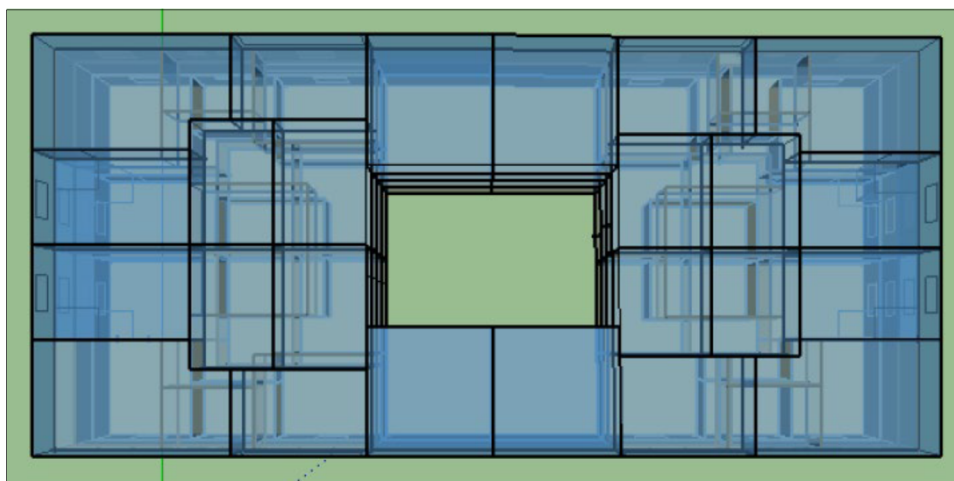


Figure 4-9: A view of the building corresponding to configuration 3

Opening a part of the block to the sky has the advantage of opening up a space which, without that opening, risks appearing too confined. Indeed, the patio covers a wide range of issues, including passive heating, passive cooling (night ventilation), and access to natural light. It offers the possibility of benefiting from direct sunlight, to illuminate both the open volume and the adjacent spaces. Favoring natural lighting at the expense of artificial lighting also has the advantage of reducing the building's energy consumption and producing lighting effects different from those provided by a vertical bay.

This configuration impacts both the cooling period and the heating period. The behavior of the integrated patio vis-à-vis the sun can be subdivided into two elements, as it is a morphogenesis of space that controls a certain number of ineluctable phenomena:

- The distribution of shaded and sunny areas, which depend on the proportions and orientation of the yard; and
- The solar and thermal radiative fields that result.

These phenomena have a direct effect on the prevailing microclimate and therefore on the comfort of the user, since these two phenomena determine the temperatures of the air and of the surrounding areas.

Figure 4-10 illustrates the energy requirements of the monthly air conditioning/heating loads for the configuration 3 building compared to those of the standard building. The results of the monthly simulation show that the cooling energy requirements of the configuration 3 building during the hot season, from May to October, vary between 26897.78 kWh and 25450.30 kWh, and that the heating energy needs during the cold season, from November to April, vary between 131.73 Million Btu and 100.27 Million Btu. The total annual charge for air conditioning is 356,078.02 kWh and the total annual heating load is 1523.31 million Btu for this configuration. Meanwhile, the simulation results of the standard building show that its cooling energy requirements during the hot season, from May to October, vary between 12379.49 kWh and 11714.12 kWh, and its heating energy requirements during the cold season, from November to April, vary between 60.88 million Btu and 45.84 million Btu, with

its total annual charge for air conditioning being 166557.96 kWh and its total annual heating load 705.34 million Btu.

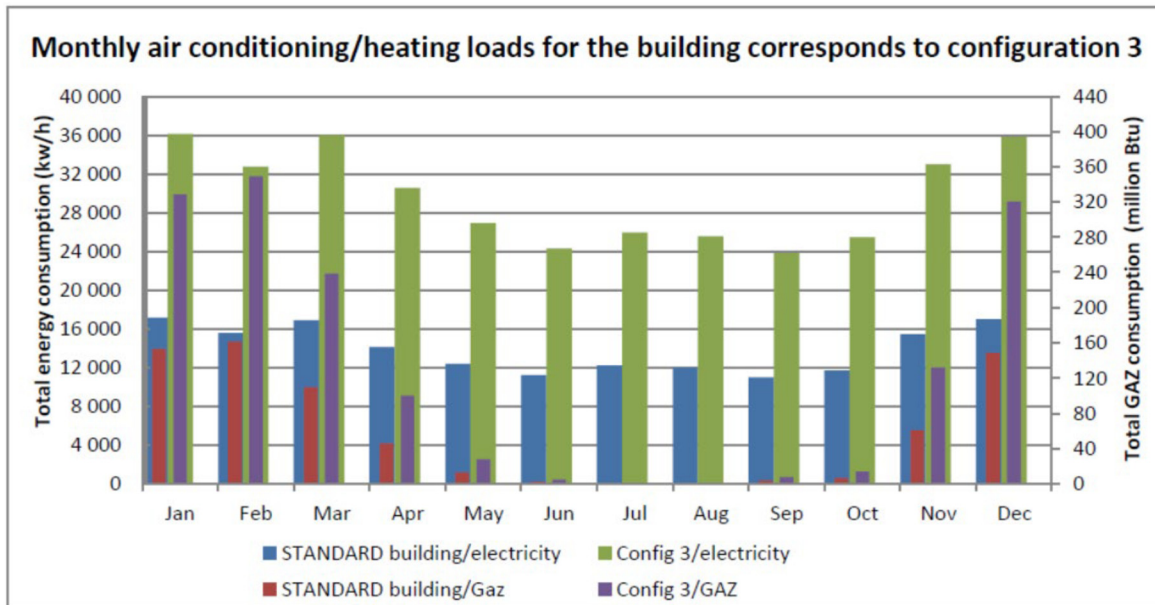


Figure 4-10: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal comfort for the configuration 3 building compared to the loads required for the standard building

The valorization of morphogenesis in the design of residential housing by the integration of a patio, as described in Section 3.1's case study process development, is in the realization of energy savings; in this simulation, by a reduction in both the cooling and the heating needs.

The energy ratio of the residential block resulting from configuration 3 was 104.40 kWh/year/m³, while the energy ratio of the Standard building (SB) was 117.84 kWh/year m³. Configuration 3 thus achieved an energy ratio of 11.40% compared to the energy use of the standard building (SB), while the research objective is to achieve a ratio of 16%.

4.5.4 Configuration 4

In arid zones, the architectural design of the patio is expressed not only at the level of the patio itself, but also in its relationship with the adjacent spaces to which it is linked. The

presence of intermediate spaces between the patio and the rear rooms is common. These rooms have the advantage of being protected from the direct radiation of the sun, while being allowed free air flow. Galleries, for example, are a kind of covered space, open on one side to the patio. Galleries can become a strong element of architectural composition, as shown in Figure 4-11, representing the building that corresponds to configuration 4. This intermediate space allows adjacent spaces to enjoy the benefits of the patio while being sheltered from its undesirable effects.

Galleries play a major role in the thermal management of the indoor environment of a habitat. The heat fluxes that are established simultaneously in the outside–inside and/or inside–outside direction and whose balance of these differences is constantly changing (positive or negative) are due to one of the following two scenarios:

- If the energy is solar radiant, the degradation by heat dissipation at a low temperature moves through these galleries on the patio side inward to heat the home; or
- If energy is a fuel, the energy degradation by loss is opposed from inside the galleries to the outside.

Applying Section 3.1's case study process development, knowledge of the sunlight conditions in this environment (the patio and the galleries) at different times of the year serves to respond to the question of the influence of this environment on adjacent spaces and is a reflection on the link between energy performance and this integration. Study of the plans and the section of the levels of irradiations makes it possible to demonstrate to what level the environment in question is affecting the potential and the energy performance of this building. This provides a first conceptual configuration of this environment that reflects the ability of the building to exploit solar energy through its envelope. Different configurations can then take shape, inspired from this potential, hence the interest in evaluating the impact of this integration of galleries on a building's cooling and heating needs, in order to optimize energy performance.

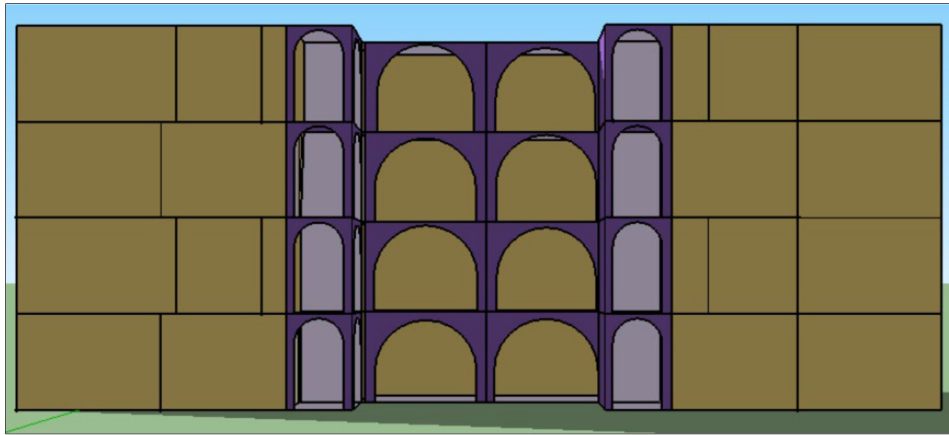


Figure 4-11: A view of the building corresponding to configuration 4

Figure 4-12 shows the monthly air conditioning/heating loads for the configuration 4 building compared to those of the standard building. The results of the monthly simulations present the cooling energy requirements of the configuration 4 building during the hot season, from May to October, which ranged from 25283.23 kWh to 23879.25 kWh, and the heating needs during the cold season, from November to April, that ranged from 130.64 million Btu to 130.64 million Btu. The total annual charge for air conditioning this building was 339583.77 kWh and the total annual heating load was 1503.32 million Btu. Meanwhile, the simulation results of the standard building show that the cooling energy requirements during the hot season vary between 12379.49 kWh and 11714.12 kWh, and that the heating energy requirements during the cold season vary between 60.88 million Btu and 45.84 million Btu. The total annual charge for air conditioning is 166557.96 kWh and the total annual heating load is 705.34 million Btu for the standard building.

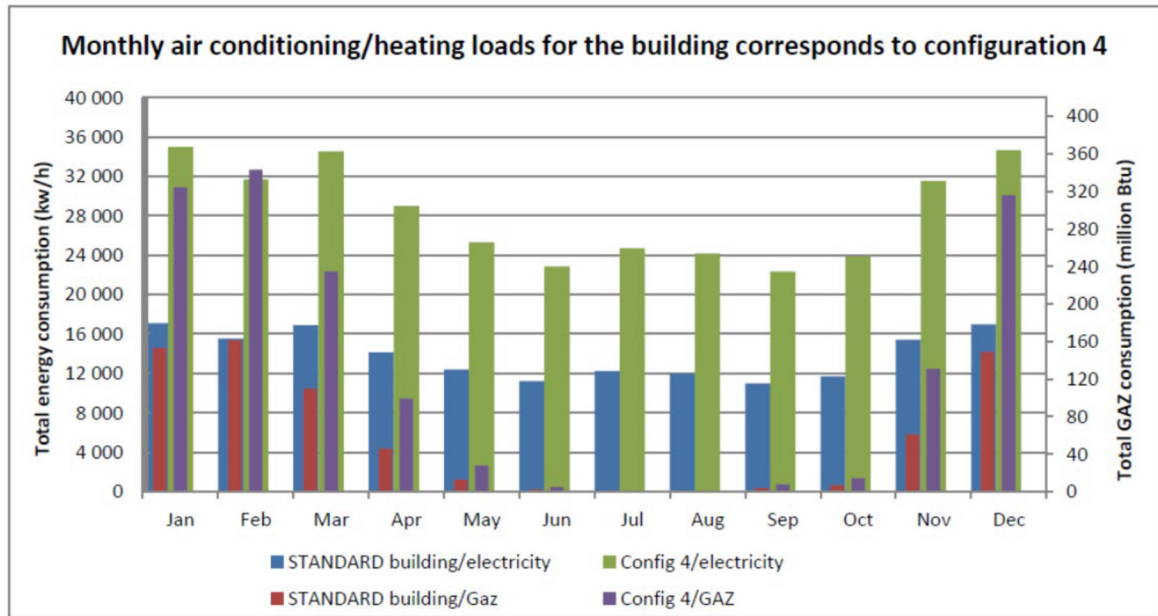


Figure 4-12: Monthly air conditioning/heating loads required to maintain the thermal comfort for the configuration 4 building compared to the loads required for the standard building

The simulation shows that this integration enhances energy inputs in winter and promotes a control of the solar irradiation in hot weather through its geometric configuration. This configuration achieved a significant reduction of the energy ratio of the residential block, requiring 99.58 kWh/year/m³, whereas the energy ratio of the standard building (SB) was 117.84 kWh/year/m³. The energy ratio for the configuration 4 residential block was 15.49% less than that of the standard building (SB)'s, closely matching the research objective of 16%.


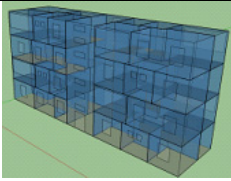

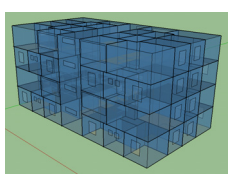

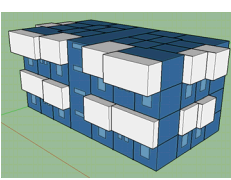
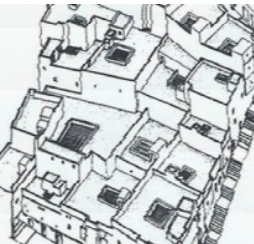
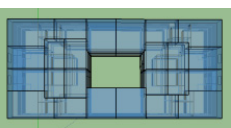

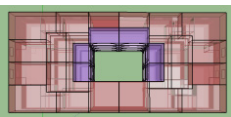
4.5.5 Synthesis

The synthesis of devices and strategies studied of residential buildings in Biskra, Algeria- namely, the creation and evolution of the shape of the building, the progressive development, the Kbou, the patio and galleries-in the design of the habitat as part of this study shows, on the one hand, their impact in the thermal management of the indoor environment of the habitat and, on the other hand, their vulnerability in the thermal environment of the habitat. In addition, the improvements that consist of modifying the properties of these devices are

favorable to thermal comfort and provide a favorable system to reduce the need for air conditioning and heating.

The action to improve the design by the integration of other devices-kbou, corbelling, followed by a patio and then a gallery surrounding the patio device(s), or strategy(s) (morphogenesis) initially planned in the case study-made it possible to achieve energy stakes leading to quantifiable objectives in terms of energy consumption, as shown in Table 4-4. This makes it possible to characterize the satisfaction of the needs for air conditioning and heating on thermal comfort. The variable thermal environment is used and the strategies/devices of correlation will be the motive for any action of integration or valorization of the integration.

Table 4-4: Annual Cooling/Heating Loads Results and Reduction Rate Compared to the Standard Building, and Research Objective for Buildings Corresponding to Different Configurations

Name of device	Image/photo	Representation under model a,b	Air conditioning		Heating		% reduction of the energy ratio compared to the research objective (16%)
			kWh/an	KW (peak)	kWh/an	kW (peak)	
STANDARD building			166 557.96	17 120.73	705.34	161.38	Building is energy intensive
Configuration 1			347 058.21	35 390.01	1 524.59	320.53	5.67
Configuration 2			275 476.92	30 035.36	1 441.49	331.05	25.11
Configuration 3			356 078.02	36 120.25	1 523.31	349.23	11.40
Configuration 4			339 583.77	34 973.88	1 503.32	343.20	15.49

4.6 Conclusions

The design of buildings in arid zones is influenced by the use of techniques and specifications of developed countries, both in energy and mechanics. This results in inconsistencies in the sector that weigh on natural resources and the well-being of users. This state of affairs offers enormous potential for ecological approaches in general and bioclimatic ones in particular. In view of a more realistic forecast of the thermal performance of vernacular devices, a comprehensive housing design assistance methodology for building designers has been proposed. Moreover, in order to converge towards a global optimum, the process relating to the case of integration of strategies and devices in the design of the habitat has been developed in the framework of this research, as a strategy of energy saving. This allows the designer to represent, measure, and verify a solution, allowing them to integrate the energy component and the comfort of the user in the design of the habitat in arid zones.

The energy simulation of the building gradually integrates into the design processes in general, particularly in passive buildings. They constitute a relevant means in terms of cost and time of implementation. As part of this research, EnergyPlus has been used as a simulation tool for the integration of vernacular features and strategies into building design and also as a tool for design assistance.

The devices and strategies study in this research, derived from the bioclimatic analysis of the city of Biskra, Algeria-kbou, corbelling, followed by a patio and then a gallery surrounding the patio device(s), or strategy(s) (morphogenesis) that were initially planned-were integrated into the design of a standard building from the design phase. The EnergyPlus simulation tool was used to analyze the integration combinations of devices and strategies, which maximized energy savings while ensuring occupant comfort. This implementation of this conceptual process in building design has made it possible to achieve a reduction of 25.11% in the energy ratio of a residential block compared to that of the Standard building (SB) of the city of Biskra, Algeria, surpassing the planned research objective of 16%.

The goal in the framework of the present research is to provide the scientific community and professionals wishing to exploit this new methodology with data concerning the real viability of the thermal performance of vernacular devices.

However, it is difficult to meet all the requirements of atmosphere and comfort that humans expect. In the end, there is no single solution for the energy problem in the design of a building.

Therefore, other research perspectives may be developed in the future, such as passive ambient comfort and natural lighting in different climates, and proposed tools to help design improved natural lighting in line with passive ambient comfort and energy efficiency.

Author Contributions: The different expertise of each author of this paper has contributed substantially to its development. B.B. collected and analyzed the data and drafted the paper. D.F. contributed to the development and edition of the content.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: The authors thank ETS Montreal/University Quebec to provide technical support for conducting this research. The authors also recognize anonymity reviewers for their comments.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Ce chapitre présente dans la première section une discussion relative à la caractérisation de la méthodologie qui s'étend sur l'ensemble des résultats obtenus dans chacun des trois articles constituant la thèse, suivi des limites de l'étude comme deuxième section ainsi que l'originalité et contributions de la présente recherche comme troisième section.

5.1 Discussion relative à la caractérisation de la méthodologie

En se concentrant sur l'étude des dispositifs et stratégies vernaculaires les plus dominants en zone aride dans le chapitre 2, les différentes configurations de dispositifs et connexions de stratégies ont été analysées pour les mettre en valeur afin de les réinterpréter dans le développement de processus de conception de l'habitat contemporain, ce qui permis de maximiser l'économie d'énergie tout en assurant le confort des occupants (objectif de la recherche). Il a été distingué que cette combinaison correspond au deux cas de figure: cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs et cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs.

L'intérêt de la mise en place de telle combinaison (corrélation et l'interaction de stratégies et dispositifs) a été bien démontré. La Figure 2-6 permet au concepteur de réaliser les différentes associations de dispositifs et stratégies vernaculaires pour ces deux derniers types de combinaisons pendant la phase d'esquisse: est celle de l'émergence d'idées de choix et de négociations, en prenant en compte les aspects énergétiques et le confort de l'occupant. Ce qui permet de réunir, modéliser, implémenter et évaluer l'impact des choix de dispositifs et stratégies pour aider les professionnels du bâtiment (architectes, ingénieurs et bureaux d'études) à améliorer l'efficacité énergétique au sein de l'habitat.

Cette dernière Figure 2-6 est manipulée par le concepteur et représente un guide pratique de recommandations et d'aide à la conception de l'habitat contemporain. Ce dernier guide est

basé sur le rapport entre les paramètres de climat, les éléments du bâtiment et les différents types d'intégration de dispositifs et stratégies vernaculaires.

La manière d'intégrer ces dispositifs et stratégies dans la conception du bâtiment et la façon dont ils sont liés a été étudiée et analysée dans son ensemble. Pour ce faire, des figures ont été développées permettant au concepteur d'aborder, lors de la phase d'esquisse, la complexité de comportement dynamique du confort thermique de l'habitat à travers les interrelations mutuelles qu'entretient le concepteur avec son cadre bâti, plus particulièrement celles qui explicitent les processus décisionnels relatifs aux mécanismes d'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat.

La Figure 3-1, correspond au processus d'intégration en interaction de dispositifs et stratégies dans la conception de l'habitat contemporain, permet de modéliser les attentes du concepteur du bâtiment qui est perçu comme un acteur conscient de ses actions d'intégrations de dispositifs/stratégies, en anticipant les résultats probables au regard des objectifs énergétiques poursuivis. Le concepteur, par le biais de l'EnergyPlus, analyse l'action d'intégration en combinaison avec l'ambiance thermique à l'intérieure du bâtiment et dès qu'il perçoit un changement ou un écart par rapport à ses attentes, il réagit en association à des nouvelles intégrations d'autres stratégies ou dispositifs. Ceci lui permet de déterminer l'effet de ces intégrations de dispositifs ou de stratégies, pris séparément pour solutionner la problématique énergétique. L'ambiance thermique concerne ces interactions entre ces dispositifs/stratégies et les mécanismes d'adaptation qui peuvent être représentés par cette boucle proposée.

L'ambiance thermique est utilisée également pour représenter la satisfaction des besoins en climatisation et en chauffage et l'interaction stratégies/dispositifs sera le mobile de toute action d'intégration. Par contre l'intérêt à l'action de l'intégration de dispositif ici, par différence à la deuxième boucle de l'intégration comme l'illustre la Figure 3-2, qui correspond au processus d'intégration en corrélation de dispositifs et stratégies dans la conception de l'habitat contemporain, dépend fortement de l'environnement objectif dans lequel se trouve le concepteur (la liste des actions proposées sélectionnées lors de la

finalisation de l'analyse bioclimatique de la ville objet de l'étude). Pour cela, la notion d'opportunité de stratégie et dispositif a été introduite et sera déterminée à partir de la liste des actions proposées par le concepteur, pour déterminer l'intérêt à l'action de l'intégration en combinaison avec l'ambiance thermique.

La Figure 3-2 permet de décrire le processus de valorisation par l'intégration d'autres dispositifs en fonction de la satisfaction des besoins en climatisation et en chauffage, lorsque la température ambiante se trouve inférieure à ce qu'il est considéré comme un état normal de satisfaction au niveau de confort. Le concepteur, par le biais de l'EnergyPlus, est appelé à valoriser sa conception par l'intégration d'autre(s) dispositif(s) au dispositif(s) ou stratégie(s) prévus initialement afin d'obtenir comme résultat des conditions thermiques plus satisfaisantes (gratification) suite aux choix des dispositifs architecturaux les plus appropriées au cas étudié.

Le principe de base de ce processus est que la climatisation et le chauffage artificiel doivent être utilisés en dernier recours. Pour ce faire, l'identification des phases stratégiques de conception décrite dans le cadre procédural permet au concepteur non seulement d'anticiper les problématiques liées à l'énergie sans imposer une idée ou une technologie au concepteur, mais d'aller en se fixant la notion de qualité, notamment en ce qui concerne les paramètres du confort. De la même façon, les enjeux énergétiques sont traduits par des objectifs quantifiables en termes de consommation d'énergie et ont relayé la compréhension de la conception du bâtiment dans sa globalité en articulation avec son environnement.

Ces deux dernières Figures 3-1 et 3-2 ont été complétées en introduisant aux deux boucles encourageant des itérations comme l'illustre la Figure 3-3: elles représentent la structure d'un cadre de conception de processus relatif à l'ambiance thermique, qui permettent au concepteur d'entreprendre la décision d'intégration de dispositif ou de stratégies dans son bâtiment en fonction de l'état de confort thermique de l'occupant et l'énergie à consommer. Elles permettent notamment la modélisation du comportement de dispositif face à une

situation d'inconfort. Il convient cependant de noter que la simulation a pour but de comprendre les interactions des composants connus d'un système.

5.2 Limites de l'étude

Cette thèse comporte des limites quant aux choix méthodologiques effectués et qui ont un impact certain sur les résultats obtenus. En raison du temps de calcul élevé de toutes les expérimentations menées dans cette étude, l'installation des approches vernaculaires dans la conception de l'habitat en milieu aride est basée sur un nombre limité d'indicateurs d'amélioration de la performance énergétique. Au vu de la diversité des exigences pour le concepteur aux divers stades d'avancement de la conception, d'autres approches coûteuses en temps de calcul auraient pu être testées afin d'étendre les conclusions de l'étude.

5.3 Originalité et contributions

Aujourd'hui à l'état d'expérimentation et de projets pilotes, la redécouverte des techniques vernaculaires pourra s'imposer comme une solution innovante et durable dans les milieux urbains en zones aride et semi-aride. Dans ces dernières zones, qui sont le berceau de solutions vernaculaires simples et performantes, s'est perdu ce savoir qui doit être réinterprété dans un contexte contemporain. La contribution à la connaissance est un premier pas vers une science du bâtiment adapté au contexte socio-économique et environnemental de cette zone tout en bénéficiant des avancées en simulation pour maximiser les bénéfices de ces pratiques ancestrales.

Les enjeux fixés dans le cadre de cette thèse étaient de fournir aux professionnels désireux d'exploiter cette nouvelle méthodologie développée dans le cadre de cette recherche et à la communauté scientifique des données concernant la viabilité réelle des performances thermiques des dispositifs vernaculaires.

La prise de conscience des phénomènes liés aux enjeux sociaux et environnementaux pousse à intégrer ces préoccupations de façon à ce que le décideur prenne une décision basée sur ces

derniers phénomènes cités précédemment qu'énergétique. Les constructions vernaculaires de demain possèdent des qualités thermiques, par l'intégration des dispositifs vernaculaires qui vont améliorer significativement le confort des habitants et leur cadre de vie écologique.

L'originalité de la présente recherche réside sur les points suivants:

- Une nouvelle méthodologie de conception centrée sur l'intégration des dispositifs vernaculaires permettant de maîtriser naturellement le confort en plus de réduire considérablement les dépenses en climatisation et en chauffage;
- Un modèle pertinent de conception adapté aux pratiques professionnelles, via l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'habitat.

À partir de ces travaux, le concepteur devrait être capable d'exploiter ces processus qui permettent de représenter, mesurer et vérifier une solution lui permettant d'intégrer la composante énergétique et le confort de l'utilisateur dans la conception de l'habitat en milieu aride.

Par ailleurs, la mise en application des processus conceptuels dressés dans la présente thèse permet de réaliser des bâtiments résidentiels à basse consommation énergétique en prenant en compte les consommations en refroidissement et celles du chauffage en relation avec le confort de l'utilisateur.

La contribution développée dans le cadre de la présente recherche constitue un moyen efficient d'améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments et une alternative viable au choix d'une stratégie d'économie d'énergie pour l'habitat résidentiel. De même, cette contribution permet de réaliser une diffusion efficace de ces pratiques professionnelles afin d'intégrer les dispositifs architecturaux de nature bioclimatique dans les problématiques énergétiques et le confort de l'occupant.

Cette contribution réside dans les points suivants :

- À la connaissance: un cadre conceptuel validé par une analyse empirique utilisant la simulation des potentiels d'amélioration de la performance énergétique de l'architecture multi résidentielle en zone aride à l'aide de dispositifs vernaculaires;
- À la pratique: une méthodologie systématique pour l'évaluation des choix de dispositifs vernaculaires afin d'atteindre la performance énergétique recherchée.

Enfin, la thèse contribue d'une part, à la théorisation et à la concrétisation de cette réflexion dans la production normale du cadre bâti, d'autre part à l'intégration des nouvelles technologies dans les modes et les outils de conception architecturale contemporaine.

CONCLUSION

Cette recherche s'intéresse plus précisément à la performance énergétique de la construction de l'habitat en zones aride et semi-aride, s'inscrivant au cœur des préoccupations actuelles sur la nécessité de réduire les consommations d'énergie pour contribuer à la réalisation des conceptions d'habitat économes. La méthodologie mise en place soulève la réflexion aux pratiques architecturales vernaculaires par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat qui peuvent fortement contribuer à une stratégie d'économie d'énergie.

Cette recherche a répondu aux questions et objectifs en:

- Proposant d'abord une méthodologie de conception systématique pour l'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires dans la conception de l'habitat contemporain qui s'impose comme une solution innovante et durable dans les milieux arides;
- Faisant une démonstration empirique, basée sur la simulation, des gains possibles de l'adoption de stratégies vernaculaires à partir de typologies en place au cas d'étude.

Un regard a été mis en exergue sur l'architecture vernaculaire en zone aride, d'une architecture en étroite relation avec le climat et des facteurs culturels. La recherche démontre la faisabilité d'intégration des dispositifs et stratégies de cette dernière architecture vernaculaire pour la conception de l'habitat contemporain constituant une source d'informations incontournable pour les usagers et gestionnaires afin d'améliorer l'efficacité énergétique de l'habitat.

L'intégration des aspects énergétiques issus des différentes stratégies vernaculaires a été traitée selon une analyse complexe de la structure morphologique du bâtiment. Ce processus de conception permet d'améliorer l'efficacité énergétique de l'habitat et d'assurer le confort des usagers. Les résultats illustrent concrètement d'une part, l'interrelation entre la problématique énergétique et les différents choix de conception et d'autre part, la façon dont le choix de dispositifs vernaculaires peut conditionner le comportement énergétique de l'habitat.

Cette méthodologie offre aux concepteurs de cet habitat une liberté dans les choix conceptuels durant la phase d'esquisse: phase stratégique de conception, ce qui permet au concepteur non seulement d'anticiper les problématiques liées à l'énergie sans imposer une idée ou une technologie, mais d'aller en se fixant la notion de qualité, notamment en ce qui concerne les paramètres du confort.

De la même façon, ces enjeux énergétiques se sont traduits par des objectifs quantifiables en termes de consommation d'énergie et ont relayé la compréhension de la conception du bâtiment dans sa globalité en articulation avec son environnement.

Aussi, cette méthodologie permet de mettre en relation un grand nombre de dispositifs et stratégies, issue de l'analyse bioclimatique de la ville objet de l'étude, pour formuler une solution, ceci se traduit par la multiplication des choix du concepteur dans cette méthodologie de synthèse. Cependant, leur interprétation dépend de la capacité de jugement du concepteur et de l'ambiguïté de ses choix. C'est ce qui fait de l'architecture depuis des siècles un art et une science.

La simulation énergétique du bâtiment s'intègre progressivement dans les processus de conception en général et particulièrement dans des conceptions des bâtiments passifs et de haute efficacité énergétique. Elles constituent un moyen pertinent en termes de coût et de mis en œuvre. Concernant l'analyse énergétique des intégrations des dispositifs et stratégies, EnergyPlus offre un large champ d'application et une multitude de possibilités de simulation. Cette richesse du paramétrage, renforcé par ses capacités de traitement de données de l'outil font d'EnergyPlus un outil convivial exploité dans le cadre de cette recherche. Les calculs effectués par EnergyPlus sont certifiés par le département de l'énergie des États-Unis et par le Pacific Northwest National Laboratory, qui ont effectué de nombreux étalonnages et contrôles sur la qualité des résultats.

À travers l'exploration de cette méthodologie, il a été proposé en premier lieu un processus conceptuel relatif au cas d'intégration en interaction de stratégies et dispositifs dans la

conception de l'habitat permettant la faisabilité d'intégration de mezzanine et voûte en tant que dispositifs vernaculaires qui permettent d'améliorer la performance énergétique de l'habitat et d'assurer le confort de l'occupant, basé sur la structure morphologique du bâtiment proposé situé à Biskra, Algérie. Ceci, s'est traduit par des résultats qui démontrent que, à chaque intégration en plus de dispositifs au bâtiment s'avère une solution pertinente et permet à une collection de dispositifs de se constituer comme groupe et qui constitue dont le fait que le comportement de chaque dispositif devient un stimulus pour un autre dispositif. Cette collection de dispositifs et stratégies s'est traduite à nouveau par une réduction en ratio énergétique allant jusqu' au de 20,84 % par rapport au bâtiment standard.

En deuxième lieu, un autre processus relatif au cas d'intégration en corrélation de stratégies et dispositifs a été proposé permettant, de créer, d'évoluer et de développer progressif la conception de l'habitat, en tant que stratégie d'économie d'énergie intégrant des indicateurs de performances énergétiques et de confort de l'utilisateur, en vue d'optimiser à terme la morphogenèse des bâtiments résidentiels, basés sur la structure morphologique du bâtiment proposé situé à Biskra, Algérie. Cette stratégie s'est traduite par une réduction en ration énergétique allant jusqu'à 25.11% par rapport au bâtiment standard.

Au terme de cette recherche, il a été démontré que l'exploration de la méthodologie développée permet de répondre aux besoins en bâtiments contemporains adaptés aux contextes énergétiques et climatiques en zone aride et semi-aride. Donc, la question de l'efficacité énergétique de l'habitat impose l'exploitation du potentiel environnemental. Cette méthodologie permet d'optimiser la forme et l'enveloppe qui soit en concordance avec le contexte extérieur. Ceci, se traduira par la conceptualisation des morphogenèses capables, soit des morphologies potentiellement possibles et performantes, à partir desquelles le concepteur peut concevoir son habitat.

Pour améliorer la qualité des prédictions, un travail important devra être réalisé pour doter le secteur de bâtiment en zone aride et semi-aride d'une base de données qualitative sur les

stratégies et dispositif vernaculaires et aussi sur les propriétés des matériaux de construction locaux afin d'optimiser des configurations mieux adaptées au climat en question.

Enfin, cette méthodologie proposée peut être étendue à d'autres besoins comme l'éclairage naturel, usages spécifiques et ainsi développer un outil d'aide à la conception de bâtiment résidentiel intégré à son contexte dans sa globalité. Il est impossible de traiter cette question si l'on ignore des ressources et si l'on néglige des besoins.

De ce fait, d'autres perspectives de recherches pourront être développées dans le future telle que:

- Le confort ambiant passif et l'éclairage naturel en milieu aride;
- Le confort ambiant passif et la faisabilité d'intégration des dispositifs vernaculaires dans la conception de l'habitat par rapport à d'autres climats;
- Le confort ambiant passif et l'éclairage naturel par rapport à d'autres climats;
- Proposition d'outils d'aide à la conception de l'éclairage naturel en adéquation avec le confort ambiant passif et l'efficacité énergétique.

Toutes ces perspectives illustrent que le domaine des études visant à étendre la mise en application de la démarche bioclimatique est particulièrement étendu. Différents domaines de l'énergétique du bâtiment sont concernés et peuvent contribuer à une meilleure conception des bâtiments résidentiels, exploitant de mieux en mieux les ressources de l'environnement.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (IEA)., I. E. A. (2018). Bilans énergétiques des pays de l'OCDE, Paris, France, 2018. *AIE/OCDE*.
- Abdelsalam, T., & Rihan, G. M. (2013). The impact of sustainability trends on housing design identity of Arab cities. *Housing and Building National Research Center, HBRC Journal*, 9, 159–172.
- Abdulac, S. (2011). Les maisons a patio, continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines. In : Icomos. Le patrimoine, moteur de développement. *International Council on Monuments and Sites*.
- Afnor. (2007). Critères d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique. *Association française de normalisation, Norme européenne, Norme française NF EN 15251*, 2007.
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie [ADEME]. (2010). *Batiment. Énergie-environnement. Les chiffres clés 2010/le Batiment*. <http://www2.ademe.fr/>: <http://www2.ademe.fr/>.
- Agence pour la promotion de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie [APRUE]. (2014). *Pour une construction éco-énergétique* Alger: giz Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Ajaj, A., & F., P. (2014). Re-Thinking Traditional Arab Architecture: A Traditional Approach to Contemporary Living. *International Journal of Engineering and Technology*, 6. no. August 2014, , 286-289.
- Alalouch, C., Salah-eldin Salah, M., & Al-Saadi, S. (2016). Urban Planning and Architecture Design for Sustainable Development, UPADSD. Energy-Efficient House in the GCC Region. *Social and Behavioral Sciences, UPADSD 14- 16 October 2015*.
- Albrow, M. (1997). *The Global Age: State and Society Beyond Modernity*.
- ASHRAE. (2009). Chapitre 9 Thermal Comfort. In *ASHRAE Handbook—Fundamentals. (S-I Edition); American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE): Atlanta, GA, USA, 2009*.
- Atif, S. (2011). Typologie des logements marocains, modèles d'habitats entre persistance et mutations énoncé théorique. *ENAC/SAR 2010-1011*.

- Attia, Beltrán, Herde, D., & Hensen. (2009). "Architect friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools.
- Aurélien, P., Diana, R., Nathalie, M., & Beckers, B. (2011). La modélisation 3D : une nouvelle voie pour les documents d'urbanisme ? Application à l'optimisation énergétique des bâtiments. *Revue Internationale de Géomatique*, 21-N°4, 557-583.
- Badran, A. (2003). Performance of cool towers under various climates in Jordan, *In proceeding of the 7 the Rehva world congress*, (pp. pp 1031-1035). Napoli (Italy) In proceeding of the 7 the Rehva world congress, .
- Baduel, P. R. (2003). Habitat État et société au maghreb.
- Bahadori, M. N. (1978). les systemes de refroidissement passifs dans l'architectures. *Pour la science*, n°6, 14-22, .
- Baker, N., & Steemers, K. (2000). Energy and environment in architecture: a technical design guide. *Energy and environment in architecture*, 240.
- Bardou, P., & Arzoumanian, V. (1978). *Archi de soleil*. Parenhèses, Roquevaire: Parenhèses, Roquevaire.
- Beguin, D. (2011, Consulté le: 03.02.2011). energie solaire Repéré à <http://www.scribd.com/doc/3874692/Guide-de-ecoconstruction>
- Belakehal, A., & Tabet, A. K. (2003). L'éclairage naturel dans le batiment référence aux milieux arides a climat chaud et sec. *Courrier du savoir*, n°04, 03-13, 2003, 03-13.
- Ben Cherif, M., & Chaouche, S. (2013). La maison urbaine à patio, ré pense architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Sécheresse*, V :24 : n°24, 203-13.
- Berghout. (2012). Effet de l'implantation d'un bâtiment sur le confort hygrothermique, cas de Biskra, Algérie. *Ets*, 184.
- Berghout, Forgues, & Monfet, D. (2014). Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie., Algérie. *eSim (2014)*. Ottawa, Canada.
- Bordas-Astudillo, F. (2003). *Quelle forme urbaine pour quelle densité vécue ?* Paris.
- Bougherira, Q. (2016). « Stratification morphologique et valeur historique de la ville de Dellys » , Le rôle des villes littorales du Maghreb dans l'histoire, RM2E. *Revue de la Méditerranée édition électronique, Tome III. 1, 2016*,, p. 199-210. Repéré à http://www.revuedelamediterranee.org/index_html_files/Bougheira_2016-III-1.pdf

- Bouyer, J., 2009. Modélisation et simulation des micro-climats urbains. Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques du bâtiment.
- Buchoud, N. (2008). La Ville stratégique, Changer l'urbanisme pour répondre aux défis urbains mondiaux – Strategic city, Planners for The XXIst century. Paris, France. (Réimpression de la Éditions du Certu, Coll. Débats, Paris).
- Buratti, C., & Ricciardi, P. (2009). Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. *Build. Environ.* 44, 674–687.
- Campredon, J.-P., Croci, D., & Verga, M.-J. (2002). *Enveloppes & murs : réflexion sur l'enveloppe du bâtiment*. Aix-en-Provence, France: Édisud.
- Cena, K., & Dear, R. d. (2001). Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. " *Journal of Thermal Biology* 26 (45) : 409–414. *International Thermal Physiology Symposium*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456501000523>. 26.
- CITEPA. (2007). *Rapport d'Inventaire National, Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France*.
- Conan, M. (1990). Concevoir un projet d'architecture. *L'harmattan, Paris*.
- de Dear, R., & Brager, G. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Tech Data Bull*, 14(1) : 27–49. 26.
- de Dear, R. A. (1998). Global database of thermal comfortfield experiments. *ASHRAE Transaction* 104, 104(1) : 1141â1152. 26.
- Dehaussé, R. (1988). *Energétique des bâtiments, situation, besoins*.
- Denis, D. (2012). *Bâti vernaculaire & Développement urbain durable*. Paris, France: Ile de France.
- Depecker, P., Menezé, C., Virgone, J., & Stéphane, L. (2001). Design of building shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36, 2001, 627-635.
- Deru, M., Field, K., Studer, D., Benne, K., Griffith, B., Torcellini, P., . . . Rosenberg, M. (2011). Department of Energy Commercial Reference Building Models of the National Building Stock; NREL Report No. TP-5500-46861; . *National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2011*.

- DOE. (2015a). EnergyPlus documentations and manuals. *US, department of energy, also refer,* (to http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm).
- DOE. (2015b). EnergyPlus documentations and manuals. *US, department of energy, also refer,* (to <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/featurehighlights.pdf>).
- DOE. (2015c). EnergyPlus documentations and manuals. *buildings energy performance simulation programs v1.0.,* (http://www.eere.gov/buildings/tools_directory/pdfs/contrasting_the_capabilites).
- DOE. (2015d). EnergyPlus documentations and manuals, . *US, department of energy, also refer,* (to <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/testing.cfm>).
- DOE, U. S. (2008). BEST Directory. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.
- Eben Saleh, M. A. (2004). Learning from tradition: the planning of residential neighborhoods in a changing world, Habitat International, . 28, N°4, 25–39.
- Edmonds, I., & Reppel, J. (1996). Performance of new daylighting systems in northern Australian schools. *Proceedings Solar'96*, pp.641-650.
- El-Miniawy. (1970). The brothers Hany and Abdel Rahman are two Egyptian architects, who are part of a larger team which has been living and working in Algeria since 1969. .
- Elseragy, A. A. B., & Gadi, M. B. (2003, 11-14 août 2003). *Computer simulation of solar radiation received by curved roof in hot-arid regions, Proceedings Building Simulation* présentée à Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands,.
- Energy economic, B. (2018). Statistical Review of World Energy. *The energy charting tool – view predetermined reports or chart specific data according to energy type, region, country and year.*
- EnergyPlus™. (2013). programme de simulation thermique et énergétique des bâtiments. *développé par le DOE, (Department of Energy, États-Unis), la version actuelle 8.7 d'EnergyPlus™, onglet Climatique de CYPECAD MEP.*
- EnergyPlus™. (2014). Programme de simulation thermique et énergétique des bâtiments développé par le DOE. *Department of Energy, États-Unis, version actuelle 8.7*

- Etzion, Y. (1995). Openings in hot climates - Wind, sun and shading. *Proceeding intrnational workshop on climatically responsive energy efficient architecture*, pp 1-21.
- F. Boudali Errebai, L. Derradji, Y. Maoudj, M. Amara, & Mokhtari., A. (2012). Confort thermique d'un local d'habitation: Simulation thermoaéraulique pour diffère nts systèmes de chauffage *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 15 N°1 (2012) 91 – 102.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering*. New York, N.Y.: McGraw-Hill.
- Fanger, P. O., B.M. Ipsen, G. Langkilde, B.W. Olessen, N.K. Christensen, & Tanabe., S. (1985). Comfort limits for asymmetric thermal radiation. *Energy and Buildings* 8 (3) : 225 – 236. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778885900064>. 24, 25.
- Fardeheb, F. (1989). *Classification des techniques de refroidissements naturelles dans l'architecture vernaculaires des pays du Moyen-Orient* présentée à Séminaire sur l'énergie solaire (1989).
- Farzaneh, S., Mehdi, S., & Wenyi, Z. (2017). Socio-environmental sustainability in traditional courtyard houses of Iran and China. *Review Article. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1147-1169.
- Fathy, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. The University of Chicago Press: The University of Chicago Press.
- Fernandez, P., & Lavigne, P. (2010). Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Complément Technique, . n°13, 32-47.
- Fezzioui, N., Benyamine, M., Tadj, N., Droui, B., & Larbi, S. (2012). Performance énergétique d'une maison a patio dans le contexte maghrébin (Algerie, Maroc, Tunisie et Libye). *Revue des Energies Renouvelables*, 15: 399-405.
- Fezzioui, N., Khoukhi, M., Dahou, K., Aït-Mokhtar, & Larbi, S. (2009). Bioclimatic Architectural Design of Ksar de Kenadza: South-west Area of Algeria Hot and Dry Climate. *Architectural Science Review*, 52(3): 221-228,.
- Fezzioui, N., Khoukhi, M., Dahou, Z., Aït-Mokhtar, K., & Larbi, S. (2009). Bioclimatic Architectural Design of Ksar de Kenadza: South-west Area of Algeria Hot and Dry Climate. *Architectural Science Review*, 52(3), 221-228. doi: 10.3763/asre.2008.0057. Repéré à <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/asre.2008.0057>

- Flory-Celini C., Varet G., V. J., & Covalet D. (2007). Comparison of the thermal performances of buried pipe system and night ventilation on residential buildings, .
- Frey, P. (2010). *Learning from vernacular/Pour une nouvelle architecture vernaculaire*. Arles : Actes Sud.
- Gagge, A. P. (1981). Chapter 5 Rational Temperature Indices of Thermal Comfort. In *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort, Vol. 10 of Studies in Environmental Science* edited by K. Cena and J.A. Clark. 79 – 98. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166111608710823>. 24.
- Gagge, A. P., Cena, K., Clark,, & J.A., E. (1981). Chapter 5 Rational Temperature Indices of Thermal Comfort. In *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort; . Elsevier: Amsterdam, The Netherlands,, 10*, 79–98.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., & Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ. Res.*, 1-20.
- Gali, G., & Yilmaz, A. Z. (2012). Problems for Energy Certification of Complex Buildings Through Simplified Methods. . In *Proceedings of the First Building Simulation and Optimization Conference, Loughborough, UK, 10–11 September 2012; pp. 87–94*.
- Girardet, H. (2008). *Urban Development and Climate Change*. Publisher of academic, scientific, and professional books, 2008.
- Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. Elsevier Publishing Company Limited.
- Givoni, B. (1978a). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris: Editions du Moniteur.
- Givoni, B. (1978b). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris: éditions du Moniteur,.
- Goel, S., Athalye, R. A., Wang, W., Zhang, J., Rosenberg, M. I., Xie, Y., . . . Mendon, V. V. (2014). Enhancements to ASHRAE Standard 90.1 Prototype Building Models; PNNL-23269BT0400000; . *Pacific Northwest National Lab. (PNNL): Richland, WA, USA, 2014*.
- Gou, S., Li, Z., Zhao, Q., Nik, V. M., & Scartezzini, J.-L. (2015). Climate responsive strategies of traditional dwellings located in an ancient village in hot summer and cold winter region of China. *Building and Environment*, 86, 151-165. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.003>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314004144>
- Gratia, E., & De Herde, A. (2002). A simple design tool for the thermal study of dwellings. *Energy and Buildings*, n°34, 411-420.

- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GEIEC]. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse* Genève, Suisse.
- Guindani, S., Doepper, U., Aubry, F., Bevilacqua, M., & Supic, P. (1990). *Architecture vernaculaire territoire, habitat et activités productives*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Hachem, C., & Athienitis, A. (2013). Using passive design. *A S H R A E*, 2013. 55-1, 1, 72-74.
- Haseh, R. H., Khakzand, M., & Ojaghlou, M. (2018). Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan. *Buildings* 2018, 8, 166(doi:10.3390/buildings8120166.).
- Hawkins, D., Hong, S. M., Raslan, R., Mumovic, D., & Hanna, S. (2012). Determinants of energy use in UK higher education buildings using statistical and artificial neural network methods. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(1), 50–63.
- Hegger, M. (2003). From passive utilization to smart solar architecture, Detail solar architecture, strategies visions, concepts, . 12-25.
- Hénon, A., Mestayer, P.-G., Groleau, D., & Vooght, J. (2011). High resolution thermoradiative modeling of an urban fragment in Marseilles city center during the UBLES COMPTE campaign. *Building and Environment*, 46, (Issue 9, September), 1747-1764.
- Hensen, J. (2004). *Towards more effective use of building performance simulation in design*. présentée à 7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven: TU/e.
- Hester, N., Li, K., Schramski, J. R., & Crittenden, J. (2012). Dynamic modeling of potentially conflicting energy reduction strategies for residential structures in semi-arid climates. *Journal of Environmental Management*, 97, 148-153. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.002>. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711004270>
- Holland, M., & Toderian, B. (2008). The case for density in sustainable cities, Urban Land Green, Printemps 2008.
- Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). BS: an overview of developments & information sources. *Building & Environment*, 35, p. 347-361.
- Hurpy, I. (1978). La climatisation de l'habitat par cheminée solaire et le système du “ Melkaf ” solaire. *Énergies nouvelles* 5, 5, 105-110.

- Hyde. (2008). Bioclimatic Housing Innovative Designs For Warm Climates. *Bioclimatic Housing*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). View documentations from the IPCC-49 and Working Group Plenary Sessions.
- International Energy Agency. (2007). *the world energy Outlook*. (5432). http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/weo_2007.pdf.
- Izard. (1993). *Architectures d'été : Construire pour le confort d'été*, . Ed. Edisud, 1993.
- Izard, & Guyot. (1979). *Archi Bio*. Paris: Ed. Parenthèses.
- Izard, J. L. (2015). Soleil et Architecture Control D'ensoleillement par Formes Architecturales. *Techniques de L'ingénieur La lumière et L'isolation dans la Construction*, (Ref. Article: c3311). 2014.
- Jormakka, K., Schürer, O., & Kuhlmann, D. (2008). Building-Designing-Thinking, Aalto Foundation, . *Helsinki, Alvar Aalto Academy*.
- Jules, D. (2015). Global Research (<https://suds-en-ligne.ird.fr/desertif/carte.html>, Consulté en date du: 06.08.2019 éd.).
- Kemajou, A., & Mba, L. (2011). Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude Application au cas des régions climatiques camerounaises, 'ENSET'. *Revue des Energies Renouvelables*, 14. N°2 (2011) 239 – 248.
- Knowles, R. L. (1981). *Sun Rhythm Form*. Cambridge, Massachusetts, États-Unis: Éditions MIT Press.
- Koenig, R. (1980). *TECHNIQUES ET ARCHITECTURE TECHNIQUES ET ARCHITECTURE*, 329.
- Koenigsberger, O. H. (1974). *Manual of tropical housing and building*. London: Longman.
- Krishan, A. (2001). Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for Energy Efficient Buildings. *Tata Mc Graw-Hill Education*.
- Kuo, P.-Y., & Fu, J.-C. (2012). Enenergy-saving benefit of campus energy control system-case study of chaoyang university of technology in Taiwan. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, (2012), 136, 279–286.
- Kuo, P.-Y., & Fu, J.-C. (2012). Enenergy-saving benefit of campus energy control system-case study of chaoyang university of technology in Taiwan. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, (2012), 136, 279-286A.

- Kusuda, T. (1999). Early history and future prospects of buildings system simulation. *IBPSA*.
- Lawrence, R. (2006). Learning from the vernacular : Basic principles for sustaining human habitats. 110-127.
- Le Quellec, J., Tréal, C., & Ruiz, J. (2006). Maisons du Sahara : habiter le desert.
- Lechner, N. (2009). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects (pp. 720). Hoboken, NJ, États-Unis. (Réimpression de la Éditions John Wiley & Sons Ltd (3rd edition)).
- Lee, Y. M., Liu, F., Lianjun, A., Jiang, H., Reddy, C., Nevill, P., & Cuthbert, C. (2011). Modeling and simulation of building energy performance for portfolios of public buildings. In Proceedings of the 2011 winter simulation conference (WSC). (WSC) 915-927.
- Liébard, A., & De Herde, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, .
- Lin, H. (1981). Building plane, form and orientation for energy saving. *Journal of Architecture*, 4, 37-41.
- Ling, C. S., Ahmad, M. H., & Ossen, D. R. (2007). The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar Insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate. *Journal of Construction in Developing Countries*, Vol.12, n°1, 27-38.
- M'Sellem, H., & Alkama, D. (2009). «Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique- Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec-». *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 12 N°3 471 – 488
- Mahoney, C. (1967). I.D.A. Educational Project, Nigérie: The departement of standards for termal comfort. Tropica advisory service, Departement of tropical studies, . *Architectural assocaiton, London*.
- Mahsa, R., Mohammad, M. M., D.P.L.Gb, Pejman, E., & Damoon, M. (2011). Sustainability, architectural topology and green building evaluations of Kashan-Iran as a hot-arid region. *International Conference on Green Buildings and Sustainable. Cities, 2011*.
- Maïzia, M. (2007). L'energie urbaine et la morphplogie des villes. *Les annales de la recherche urbaine*, 103, 79-85.
- Marry, S. (2009). Densité urbaine et qualité de vie. En quoi la compréhension des représentations de la densité urbaine est-elle prépondérante dans l'analyse et la

conception de formes urbaines propices à une certaine qualité de vie ? *Entreprises Pour l'Environnement*. Repéré à <http://www.epe-asso.org/>

Mazouz. (2005). La ville et le désert. Le Bas-Sahara algérien. *L'adaptation bioclimatique dans le Bas-Sahara*. In : Cote M, dir.

Mendler Sandra, & Odell William. (2001). The HOK Guidebook to Sustainable Design. 412.

Menkhoff, H., Blum, A., Trykowski, M., Wente, E., & Zapke, W. (1983). Energetisches Bauen. Energiewirtschaftliche Aspekte zur Planung und Gestaltung von Wohngebäuden. *Schriftenreihe "Bau- und Wohnforschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau*, 04.086/1983.

Michael., W., & Jude, H. (2000). Intelligent skins. 184 p.

Miles, J. C., Sisk, G. M., & Moore, C. J. (2011). The conceptual design of commercial buildings using a genetic algorithm. *Comput. Struct.* 2011, 79,, 1583–1592.

Ministère de l'énergie et des mines [MDEDM]. (2009). Consommation énergétique finale de l'Algérie: Chiffres clés Année 2007. Coll. *Consommation énergétique* ». Alger: APRUE.

Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, M. (2009). Intégrer l'Économie d'Énergie dans l'Habitat. *Revue de l'Habitat*, N°4, 74 p.

Mitra, K., & Sanaz, A. (2014). Traditional solutions in low energy buildings of hot-arid regions of Iran. *Sustainable Cities and Society*, 13, 171-181.

Mokhtari, A., Brahimi, N., & Benziada, R. (2008). Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar. *Revue des Energies Renouvelables*, 11-4, 307 – 315.

Morello, & Ratti, C. (2009). Sunscapes: 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs. *Comput. Environ. Urban Syst*, 33, 29-34.

Morello, E., & Ratti, C. (2008). Sunscapes: 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs. *Computers, Environment and Urban Systems*, Revue n°33, 26-34.

Moujalled, B. (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, . *Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*.

Nabonia Emanuele, Antonio Malcangia, Yi Zhangb, & Furio Barzonc. (2015). Defining The Energy Saving Potential of Architectural Design. *7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings. Energy Procedia* 83 (2015), 140 – 146

- Nicol, F. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot and humid tropics. *Energy and Buildings* 36 (7) : 628 – 637. *Building Research and the Sustainability of the Built Environment in the Tropics*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804000155>. 25.
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings* 34 (6) : 563 – 572. *Ecial Issue on Thermal Comfort Standards*. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000063>. 25.
- Norman, F. (2008). Reconversion et patrimoine au Rouyame Uni. *Revue géographique de l'est*, 48/1-2.
- Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963a). *Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism. Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963b). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, N.J.,: Princeton University Press.
- Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1963.
- Oliva, S. C. e. J.-P. (2006). *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation* (1ère édition éd.). France.
- Østergård, r., R.L. Jensen, & –, S. E. M. (2016). Building simulations supporting decision making in early design *A review*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 61 (2016) 187–201, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>.
- Pacheco., R., Ordoñez., J., & Martinez, G. (2012). Energy efficient design of building. *A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16-2012, 3559-3573.
- Pelegrin, F., & Pelegrin-Genel, E. (2007). *Innovation Maîtrisée Pour l'Architecture Climatique, la Thermique et l'Environnement* (Réponse à l'appel à projets du PREBAT CQHE (Concept Qualité Habitat Énergie), Fiche résumé, 2007). Repéré à <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/>
- Pessenlehner, W., & Mahdavi, A. (2003, 11-14 août 2003). *Building morphology, transparency and energy performance* présentée à Eighth International IBPSA Conference.
- Peuportier, B. (2008). *Éco-conception des bâtiments : Bâtir en préservant l'environnement*.

- Punjabi, S., & Miranda, V. (2005a). Development of an integrated building design information interface. . in *IBPSA. 2005*.
- Punjabi, S., & Miranda, V. (2005b). Development of an integrated building design information interface. in *IBPSA. 2005. Montreal, Canada*.
- Rana, S., Nastaran, P., & Maryam, B. (2015). Climate Comfort Comparison of Vernacular and Contemporary Houses of Iran. *Faculty of Architecture, Iran University of Science and Technology, 16846-13114 Tehran, Iran. Asian Conference on Environment-Behaviour Studies, AcE-Bs2015, 20-22 February 2015, Tehran, Iran*.
- Rapoport, A. (1972). *Pour une anthropologie de la maison*, . Paris.
- Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005a). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, Vol.37, n°7, 762-776*.
- Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005b). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37-7, 762-776*.
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Bulding form and environnemental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and buldings, 35-1, 49-59*.
- Ravéreau, A., & al, e. (2007). *Du local à l'universel*. Paris: Éditions du Linteau.
- Raydan, D., Ratti, C., & Steemers, K. (2006). Courtyards: a bioclimatic form In: Edwards B, Hakmi M, Land P, eds. *Courtyard housing: past, present and future*. .
- Rogers, R., & Gumuchdjian, P. (2000). *Des Villes durables pour une petite planète* (2000 éd., pp. 216). Paris: Le Moniteur.
- Salah, S. (2010). Vers une primauté de l'architecture, Transformation de l'existant et enjeux environnementaux. *ENSAL-QEB-2010*.
- Salama, A. (2001). Units Housing Project, Biskra, Algeria, . *Technical Review Summary*.
- Salat, S., & Nowacki, C. (2010). De l'importance de la morphologie dans l'efficiene énergétique des villes. *Énergies et territoires ou comment construire les territoires de demain face à la nouvelle donne climatique et énergétique*,, 86, *ADEME, IEPF, Québec*, 141.
- Salat, S., & Nowacki, C. (2010). *De l'importance de la morphologie dans l'efficiene énergétique des villes*. Québec, 1er trimestre 2010: *ADEME, IEPF, Québec*.

- Saljoughinejad, S., & Sharifabad, R. (2015). "Classification of climatic strategies, used in Iranian vernacular residences based on spatial constituent elements.". *Building and Environment*, 92, 475-493.
- Sallez, A., Devillers, C., Haumont, A., Nappi-Choulet, I., & Warnier, B. (2007). *Formes d'habitat et densités urbaines : quelles opportunités pour la ville de demain ?*, Les Cahiers de l'Observatoire de la Ville Paris.
- Schittich, C., . (2003). Enveloppes. Concepts, peaux, matériaux., 196 p.
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, 92 (3-4), 179-186.
- Shelton, T. (2008, octobre 2008,). *Reconciling housing density and housing diversity in inner ring neighbourhoods* présentée à Conference on Passive and Low Energy Architecture, . Dublin, .
- Sibley, M. (2018). Let There Be Light! Investigating Vernacular Daylighting in Moroccan Heritage Hammams for Rehabilitation, Benchmarking and Energy Saving. *Sustainability* 2018,, 10, 3984/su10113984.
- Société Nationale d'Électricité et du GAZ, S. (2013). *consulter Février 2013*, (consulter Février 2013).
- Steven, S., & Hugo, I. (2003). Photovoltaic: Ideal Solution for a Sustainable Future, in Architecture. *Solar Electric Building*, Vol. 03, 2003.
- Susanne, B., Werner, L., & Johannes, H. (2014). "Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal", . *Building and Environment*,, *Revue n°81*, p.227-242.
- Susini, J. F. (2007). *Les architectes et le développement durable*. France: Ordres des architectes.
- Sylvie, S. (210-2011). Le confort d'été dans l'architecture vernaculaire et ces applications dans l'architecture contemporaine.
- Szokolay. (2008a). Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. *ELSEVIER. Architectural Press*.
- Szokolay. (2008b). Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. 2. *ELSEVIER. Architectural Press*, 2.
- Thomas., H., Rolant., K., & Werner, L. (2007). Construire des façades, . 321 p.

- Tianzhen, Jinqian, & Yi. (1997). IISABRE: An Integrated Building Simulation Environment Building & Environment, . *IISABRE*, 32(3), p. 219-224.
- Tourment, M. (2006). *La place des energies renouvelables en Nord-Pas de Calais*. France: Conseil economique et social regional de France.
- Toutou, A., Fikry, M., & Mohamed, W. (2018). The parametric based ptimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *ELSEVIER. Alexandria University Alexandria Engineering, Journal 14 avril 2018*.
- Toutou Ahmed., Fikry Mohamed, & Waleed., M. (2018). The parametric based ptimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *ELSEVIER. Alexandria University Alexandria Engineering, Journal 14 avril 2018*.
- TRNSYS. (2017). A Transient System Simulation Program. *a program developed at the SELSolar Energy Laboratory*.
- Tzonis, A., Stagno, B., & Lefaivre, L. (2001). *Tropical architecture: Critical regionalism in the age of globalization* (Wiley-academic éd.). Italy: Alexander Tronis, Liane Lefaivre and Bruno Stango.
- Upadhyay, A. K. (2007). Understanding Climate for Energy Efficient or Sustainable Design. *IAHS*, 1-12.
- Van Dijk, E., & Luscuere, P. (2002). An architect friendly interface for a dynamic building simulation program. *in Sustainable Building. 2002. Norway*.
- Vellinga, M. (2006). Engaging the future :Vernacular architecture studies in the twenty-first century. 81-94.
- Virgilio Ciano, Serena Falasca, Lacopo Golasi, Gabriele Curci, Massimo Coppi, & Salata., F. (2018a). Influence of Input Climatic Data on Simulations of Annual Energy Needs of a Building: EnergyPlus and WRF Modeling for a Case Study in Rome (Italy). *Energies 2018, 11, 2835; doi:10.3390/en11102835 www.mdpi.com/journal/energies*.
- Virgilio Ciano, Serena Falasca, Lacopo Golasi, Gabriele Curci, Massimo Coppi, & Salata., F. (2018b). Influence of Input Climatic Data on Simulations of Annual Energy Needs of a Building: EnergyPlus and WRF Modeling for a Case Study in Rome (Italy). . *Energy. Published: 20 October 2018*.
- Wardah, F., Yusoff, M., & Mohd, F., Mohamed. (2017). Building Energy Efficiency in Hot and Humid Climate Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *From Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 159-168

- Warren, P. (2002). Bringing simulation to application, . *IEA ECBCS, Annex 30*.
- Waterson, R. (1990). *The Living House: Anthropology of Architecture in South-East Asia*. Oxford University Press, Indiana University.
- Wright, D. (1979). *Soleil, nature, architecture*. Roquevaire : Parenthese.
- Yousuf, W. (2011). The Challenge of Sustainability in Developing Countries and the Adaptation of Heritage-Inspired Architecture in Context. *Archnet-IJAR*, 5, N° 2, 106-118.
- Zhai, Z. J., & Previtali, J. M. (2010). Ancient vernacular architecture: Characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy Build.* 2010,, 42, , 357–365.
- Zunino, G., Naudin-Adam, M., Castano, S., & Meisel, J. (2007). *Densité : opérations de logements et quartiers urbains*. La Région Île-de-France, Paris: IAURIF (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France). Repéré à <http://www.iau-idf.fr/>